

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ярославский государственный технический университет»

**Семьдесят седьмая всероссийская
научно-техническая конференция
студентов, магистрантов и аспирантов
с международным участием**

Часть 1

Сборник материалов конференции

Электронное издание

Ярославль
2024

© Ярославский государственный технический университет, 2024
ISBN 978-5-9914-1038-0

УДК 378:001.891
ББК 74.58
С30

С30 Семьдесят седьмая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 17-18 апреля 2024 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2024. – 742 с. – 1 CD-ROM. – Текст: электронный.

В первую часть сборника вошли материалы, представляющие результаты научно-исследовательской деятельности студентов, магистрантов и аспирантов в области нефтепереработки и нефтехимии, фармацевтической химии и биотехнологии, полимерных композиционных материалов и покрытий, промышленной экологии, физико-математических наук, наземных транспортно-технологических комплексов, дорожной инфраструктуры и транспортных систем, энергетического машиностроения.

Редакционная коллегия: Е.О. Степанова, Л.А. Андриянова, Д.Д. Бахаева, Д.Т. Березин, С.И. Волгин, Е.Ю. Вавилова, В.Б. Доброхотов, А.С. Ермишин, А.А. Ивнев, В.С. Кабанова, М.Н. Кюребекова, О.В. Ладыгина, А.С. Морев, К.И. Порсев, П.Б. Разговоров, С.В. Расторгуев, А.А. Смирнова, А.Ю. Соколов, Е.Ф. Трофимов, Л.А. Тюкина, И.В. Тюкин, С.В. Шкиотов,

Минимальные системные требования:
PC PentiumIV, 512 Мб ОЗУ, Microsoft Windows XP,
Adobe Acrobat Reader, дисковод CD-ROM, мышь

© Ярославский государственный технический университет, 2024

Научное издание

Семьдесят седьмая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 17-18 апреля 2024 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1.

Текстовое электронное издание

Программное обеспечение:
Microsoft Office Word, Adobe Acrobat

Программное обеспечение для воспроизведения электронного издания:
Adobe Acrobat Reader, браузеры Google Chrome, Yandex

Редактор М.А. Канакотина

Ответственные за электронные издания: Е.В. Круглова

Подписано к использованию: 15.04.2024

Объем издания: 18,0 Мб

Комплектация издания 1 CD-ROM

Тираж 50 экз.

Ярославский государственный технический университет
150023, г. Ярославль, Московский пр., 88
<http://www.ystu.ru>

Контактный телефон: 8 (4852) 44-12-70

Сборник конференции включает материалы следующих секций:

Часть 1

- 1. Нефтепереработка и нефтехимия.**
- 2. Фармацевтическая химия и биотехнология**
- 3. Полимерные композиционные материалы и покрытия**
- 4. Промышленная экология**
- 5. Физико-математические науки**
- 6. Дорожная инфраструктура и транспортные системы**
- 7. Наземные транспортно-технологические комплексы**
- 8. Энергетическое машиностроение**

Часть 2

1. Машиностроение
2. Стандартизация, метрология и сертификация
3. Материаловедение и технология материалов
4. Инженерно-компьютерная графика
5. Автоматизация в производственной и непроизводственной сферах
6. Управление качеством
7. Экономика и управление

Часть 3

1. Информационные технологии
2. Инженерно-педагогическое образование
3. Гуманитарные науки
4. Промышленное и гражданское строительство
5. Архитектура и дизайн
6. Лингвострановедение и переводоведение
7. Из школы – в ЯГТУ: территория будущего (секция для старшеклассников)
8. Колледж - вуз: грани взаимодействия
9. Физкультура и спорт в вузе

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА И НЕФТЕХИМИЯ

- 1 **А.М. Алшейх, Т.Р. Просочкина, В.Р. Бикбаева.** ОКИСЛЕНИЕ ЦИКЛОГЕКСЕНА ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА НА АМОРФНОМ ТИТАНОСИЛИКАТНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ 20
- 2 **Е.В. Анисимова, В.А. Пинаевская, А.В. Тарасов.** О ВЛИЯНИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРАНСФЕРНОГО ТРУБОПРОВОДА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ УСТАНОВКИ АВТ 23
- 3 **Л.А. Борзова, Н.А. Борзова, А.Е. Постнова.** СИНТЕЗ 1,2-ЭПОКСИ-7-ОКТЕНА И 1,2,7,8-ДИЭПОКСИОКТАНА ИЗ 1,7-ОКТАДИЕНА С ПОМОЩЬЮ ВОДНОГО РАСТВОРА ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА 28
- 4 **Н. А. Борзова, Л.А. Борзова, А.Е. Постнова.** ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ 1,5-ЦИКЛООКТАДИЕНА С ВОДНЫМ РАСТВОРОМ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В УСЛОВИЯХ МЕЖФАЗНОГО КАТАЛИЗА 32
- 5 **А.Н. Дворецкая, Т.Н. Судзиловская.** ВЛИЯНИЕ ПРЕКУРСОРА И РЕЖИМА СИНТЕЗА НА СВОЙСТВА ГЕМАТИТА, ОСНОВНОГО ИСХОДНОГО КОМПОНЕНТА ПРОМОТИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗООКСИДНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЕГИДРИРОВАНИЯ 36
- 6 **Д.В. Демьянов, С.А. Кораблева, Л.М. Соболева.** МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ДОБАВКИ К ДИЗЕЛЬНОМУ ТОПЛИВУ НА ОСНОВЕ ТАЛЛОВОГО МАСЛА 40
- 7 **С.Ю. Ерохин, Е.В. Комарова.** ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА 44
- 8 **В.С. Иванов, А.В. Тарасов.** МОДЕЛЬ ВАКУУМНОЙ КОЛОННЫ БЛОКА ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ УСТАНОВКИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ БАЗОВЫХ МАСЕЛ III ГРУППЫ 47
- 9 **Е.М. Иванов, Е.И. Баёв, А.С. Фролов.** СИНТЕЗ ПАРАТРЕТ-БУТИЛ-ВТОР-БУТИЛБЕНЗОЛА АЛКИЛИРОВАНИЕМ БЕНЗОЛА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ 51
- 10 **Е.Б. Кочеткова, Д.А. Кочетков, М.А. Юровская, В.К. Леонтьев.** ОБНАРУЖЕНИЕ ОСТАТКОВ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ГОРЕНИЯ, МЕТОДОМ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ 55

- 11 **Д.А. Макашева, С.К. Чуракова.** ВЫДЕЛЕНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА 59
- 12 **М.А. Морозов, Л.О. Огурцов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев.** РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЙ ПРОТИВОЗАДИРНОЙ СЕРОСОДЕРЖАЩЕЙ ПРИСАДКИ ДЛЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МАСЕЛ (Сообщение 1 – исследование) 62
- 13 **М.А. Морозов, Л.О. Огурцов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев.** РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЙ ПРОТИВОЗАДИРНОЙ СЕРОСОДЕРЖАЩЕЙ ПРИСАДКИ ДЛЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МАСЕЛ (Сообщение 2 – опытная проверка исследований) 67
- 14 **М.А. Морозов, Л.О. Огурцов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев.** ВЫБОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРИСАДОК, СОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЯ СЕРЫ, ФОСФОРА И АЗОТА, ДЛЯ МАСЕЛ, ВЫПУСКАЕМЫХ НА ПАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС», ВЗАМЕН ИМПОРТНЫХ ОБРАЗЦОВ 72
- 15 **М.А. Морозов, Л.О. Огурцов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев.** СИНТЕЗ АЛКИЛСАЛИЦИЛАТНЫХ ПРИСАДОК ДЛЯ МАСЕЛ НА ОСНОВЕ ФЕНОЛА И α -ОЛЕФИНОВ 77
- 16 **Д.А. Набиуллина, Е.В. Комарова.** АДСОРБЦИЯ СТИРОЛА ИЗ СИСТЕМЫ «СТИРОЛ-ВОДА» ЦЕОЛИТАМИ НАХ 82
- 17 **Д.М. Немиров, В.С. Кабанова, Е.А. Курганова.** ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОКИСЛЕНИЯ *втор*-БУТИЛБЕНЗОЛА ДО ГИДРОПЕРОКСИДА 85
- 18 **С.А. Николаева, Ю.Ю. Смирнова, А.М. Герасимов.** ПОЛУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ТВЁРДЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ 88
- 19 **Т.Т. Нургазизова, П.С. Пелевин, А.Е. Постнова, Г.В. Рыбина.** СИНТЕЗ ЦИКЛОКАРБОНАТА ЭПИХЛОРИДРИНА 92
- 20 **Р.М. Палатова, Т.Р. Просочкина, К.Е. Юртукаев.** КАТАЛИЗАТОРЫ ПРОЦЕССА ДОЖИГА АБГАЗОВ ПРОИЗВОДСТВА ФЕНОЛА И АЦЕТОНА 95
- 21 **В.А. Пинаевская, А.В. Тарасов, Д.В. Борисанов.** ДАЛЬНЕЙШЕЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫПУСКА ЗИМНЕГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ПАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС» 98
- 22 **В.Л. Сайтнева, Е.Ф. Трапезникова.** ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРИСТАЛЬТИЧЕСКИХ НАСОСОВ В НЕФТЕХИМИИ 101
- 23 **А.А. Смурова, В.С. Кабанова, Е.А. Курганова, А.С. Фролов.** ЭПОКСИДИРОВАНИЕ ЦИКЛОГЕКСЕНА ГИДРОПЕРОКСИДОМ ЦИКЛОГЕКСИЛА 103

- 24 **А.Н. Сулейманов, А.У. Сираждинова, А.В. Тарасов.** ИССЛЕДОВАНИЕ ВОВЛЕЧЕНИЯ БЕНЗИНОВЫХ ФРАКЦИЙ УСТАНОВОК ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ В КЕРОСИН ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫПУСКА РЕАКТИВНОГО ТОПЛИВА 106
- 25 **В.А. Чураков, Г.М. Сидоров, Т.И. Маннанов.** ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ ПАРО-ЖИДКОСТНЫХ ПОТОКОВ В РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ЗОН ВВОДА СЫРЬЯ ПРИ ПОМОЩИ CFD АНАЛИЗА 110
- 26 **Е.Р. Швайковская, В.С. Кабанова, Е.А. Курганова, Г.Н. Кошель.** СИНТЕЗ АЛКИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ГОМОЛОГОВ БЕНЗОЛА 114
- 27 **А.И. Шестакова, Е.И. Баёв, Е.А. Курганова.** РАЗРАБОТКА СОВМЕСТНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ *пара-трет*-БУТИЛФЕНОЛА И ЦИКЛОГЕКСАНОНА 117
- 28 **Д.А. Федорова, Э. Р. Атнабаева, Т.Р. Просочкина.** АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА ЭТИЛЕН-ПРОПИЛЕНОВОГО ТРОЙНОГО И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЕГО ОСНОВЕ 120

СЕКЦИЯ «ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ»

- 29 **М.А. Аввакумова, Н.Н. Яценко, С.В. Житарь, Е.Г. Зиновьева, А.Н. Лыщиков.** АНТИОКСИДАНТНАЯ ЕМКОСТЬ БАД ИЗ ИНДИИ 122
- 30 **Р.Л. Баширов, М.В. Старостин, К.Л. Овчинников.** РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА АЛКИЛИРОВАНИЯ S,S-ДИОКСИДА 4,6-ДИФЕНИЛ-3,4-ДИГИДРО-2*H*-ТИОПИРАН-3-КАРБОНИТРИЛА 124
- 31 **Н.А. Богданова, М.С. Шалабанова, Ж.В. Чиркова.** СИНТЕЗ ХАЛКОНОВ НА ОСНОВЕ ЗАМЕЩЕННЫХ 1-ГИДРОКСИИНДОЛОВ 127
- 32 **К.В. Величко, И.С. Коротнева, И.А. Осколкова, Н.О. Куликова.** ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ЛАТЕКСОВ КАРБОКСИЛСОДЕРЖАЩИХ СОПОЛИМЕРОВ В КАЧЕСТВЕ ГАСТРОРЕЗИСТЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ ТАБЛЕТОК 130
- 33 **Ю.С. Груздева, Ю.Р. Юсифова, О.С. Горячева.** ИСПЫТАНИЯ ЛЕКАРСТВЕННОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ ФУРАЦИЛИНА 133

- 34 **Д.Р. Дектярева, Е.С. Струкова, А.В. Комин.** ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ХИМЕРНОГО МОНОКЛОНАЛЬНОГО АНТИТЕЛА МЫШИ/ЧЕЛОВЕКА, СПОСОБНОГО СПЕЦИФИЧЕСКИ СВЯЗЫВАТЬ АНТИГЕН CD20 138
- 35 **П.И. Душенкова, Е.А. Индейкин.** СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОЙ ЛАЗУРИ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ СОДЕРЖАЩЕЙ РАЗЛИЧНЫЕ ИОНЫ 141
- 36 **А.С. Карандеева, А.М. Урядова, С.И. Филимонов, М.В. Кабанова.** РАЗРАБОТКА СЕЛЕКТИВНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА (2R*,4R*,6'R*)-СПИРОХРОМАН-2,4'-ПИРИМИДИНОВ 145
- 37 **Е.В. Конышева, Д.Р. Дектярева, Е.С. Струкова, А.В. Комин.** ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ БИОРЕАКТОРА НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ КЛЕТОК СНО В ПРОЦЕССЕ ИХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ 147
- 38 **К.А. Курацапова, А.Е. Солнцева, А.В. Павлов.** ПЕРВИЧНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФУРАНОКУМАРИНОВ 150
- 39 **Е.В. Миронов, И.Д. Карпов, К.Л. Овчинников, В.В. Плехтинский.** СИНТЕЗ 1-ФЕНИЛ-3-(6-ФЕНИЛ-2Н-ТИОПИРАН-3-ИЛ)ПРОП-2-ЕН-1-ОНА – ПЕРСПЕКТИВНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ФАРМПРЕПАРАТОВ 154
- 40 **К.В. Молчанова, В.В. Бухалин, В.Л. Баклагин.** РЕАКЦИЯ 4,5-ДИХЛОРФТАЛОНИТРИЛА С МОНОФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ N-НУКЛЕОФИЛАМИ 156
- 41 **А.А. Наметкина, В.С. Ясонов, В.А. Ляпунов, Н.В. Красникова.** ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА АНТИМИКРОБНЫХ ПЕПТИДОМИМЕТИКОВ С ФРАГМЕНТАМИ АДАМАНТАНА, L-ТРИПТОФАНА И L-ФЕНИЛАЛАНИНА 158
- 42 **А.Е. Решетникова.** КОНЪЮГАТЫ АБИРАТЕРОНА И ПИРОФЕОФОРБИДА А: ДИЗАЙН, СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ 161
- 43 **Л.И. Савина, Р.С. Бегунов.** ОРИЕНТАЦИЯ РЕАКЦИИ ЭЛЕКТРОФИЛЬНОГО ГАЛОГЕНИРОВАНИЯ ГАЛОГЕНПРОИЗВОДНЫХ ПИРИДО[1,2-а]БЕНЗИМИДАЗОЛА 165
- 44 **М.В. Старостин, Д.А. Сбытов, А.В. Колобов.** СИНТЕЗ И КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПЕРХЛОРАТА 3,4,6-ТРИФЕНИЛТИОПИРИЛИЯ 168

- 45 **Г.В. Торохов, Б.В. Шведский, Е.Е. Рогожина, И.С. Коротнева.** РАЗРАБОТКА СВЯЗУЮЩЕГО НА ОСНОВЕ ЛАТЕКСА АКРИЛОВОГО СОПОЛИМЕРА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТВЕРДЫХ ДОЗИРОВАННЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ 171
- 46 **М.С. Шалабанова, Н.А. Богданова, Е.С. Макарова, Ж.В. Чиркова.** АМИНОЛИЗ ХРОМЕНО[4,3-*d*]ПИРИМИДИН-2,5-ДИОНОВ 175
- 47 **С.Ю. Шлякова, Е.С. Миронычева, А.В. Колобов, В.В. Мартазова.** ПОЛУЧЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ 3,4-ДИГИДРО-2Н-ТИОПИРАНОВ НА ОСНОВЕ α,β -НЕНАСЫЩЕННЫХ КАРБОНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ПРОИЗВОДНЫХ МАЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ 178
- 48 **Ю.Р. Юсифова, Ю.С. Груздева, О.С. Горячева.** СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПРИМЕРЕ (2Z)-4-(4-МЕТИЛАНИЛИНО)-4-ОКСОБУТ-2-ЕНОВОЙ КИСЛОТЫ 183

СЕКЦИЯ «ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОКРЫТИЯ

- 49 **И.И. Ахметова, К.Г. Кичатов, Т.Р. Просочкина.** ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУР ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ КАЛОРИМЕТРИИ 187
- 50 **Д.О. Бакунин, М.И. Бурцев, А.А. Ильин.** КРЕМНИЙ-ОРГАНИЧЕСКОЕ АНТИПРИГАРНОЕ ПОКРЫТИЕ 191
- 51 **Е.А. Балужева, Л.С. Татарина, А.В. Комин.** МЕТИЛИРОВАНИЕ КАРБОКСИЛИРОВАННОГО ПОЛИДИЕНА 194
- 52 **Д.А. Буланов, С.Г. Степанов.** ГИБКИЕ ПЛОСКОСВОРАЧИВАЕМЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ РУКАВА, АРМИРОВАННЫЕ СИНТЕТИЧЕСКИМИ ВОЛОКНАМИ С ПОЛИУРЕТАНОВЫМ СВЯЗУЮЩИМ: НАЗНАЧЕНИЕ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, УСТРОЙСТВО 197
- 53 **С.В. Варгасова, А.Е. Терешко.** ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФАТА ЦИНКА В ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ 201
- 54 **М.А. Вязникова, А.Е. Терешко.** ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЙ ПОЛИМЕРОВ 204
- 55 **А.А. Григорьева, Е.Н. Егоров, Н.И. Кольцов.** ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИИЗОБУТИЛЕНОВ НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ 207
- 56 **А.Д. Деменева, Н.Ю. Алешина, Е.С. Сергеев.** ГАЛЬВАНОШЛАМЫ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ СИЛИКАТНЫХ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ 210

57	К.Е. Дмитриев, А.О. Шамина, И.С. Коротнева. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОНАПОЛНИТЕЛЯ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА ЕГО ОСНОВЕ	215
58	Е.С. Иванова, А.В. Яковлева, В.А. Игнатьев. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИАНГИДРИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ	219
59	Е.С. Иванова, М.А. Капитонова, Н.И. Кольцов. ВЛИЯНИЕ КАУЧУКОВ И СЭВИЛЕНА НА КИНЕТИКУ ВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ	222
60	М.В. Ильин, М.В. Кузьмин, Н.И. Кольцов. ЖЕСТКИЕ ПЕНОПОЛИУРТЕАНЫ НА ОСНОВЕ ПРОСТЫХ ПОЛИЭФИРОВ	225
61	Ю.А. Ильина, Е.Н. Егоров, Н.И. Кольцов. ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИЗИКОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ ДЛЯ ПРОКЛАДКОВ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ	228
62	А.А. Кириллов, М.В. Кузьмин, Н.И. Кольцов. КРЕМНИЙУРЕТАНСОДЕРЖАЩИЕ ОЛИГОМЕРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕТИЛФЕНИЛСИЛОКСАНОВОЙ СМОЛЫ	231
63	А.Н. Колосова, А.Е. Терешко. ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗООКИСИДНЫХ ПИГМЕНТОВ ПРОКАЛОЧНЫМ СПОСОБОМ ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	234
64	А.В. Корсакова, Г.Б. Ануфриева. ФЕРРОМАГНИТНЫЕ МИНЕРАЛЫ	238
65	С.И. Кощенкова, Н.А. Семенова, Н.И. Кольцов. ВЛИЯНИЕ БРОМБУТИЛКАУЧУКА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ	241
66	В.А. Крисанова, А.А. Липин. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДИФфуЗИОННУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ	244
67	Ю.А. Крылова, А.Е. Терешко. РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ КРАСОК СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	248
68	Д.С. Кудряшов, Е.С. Соболева. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ НА ЭЛЕКТРОКРИСТАЛЛИЗАЦИЮ КОБАЛЬТА ИЗ СЕРНОКИСЛОГО ЭЛЕКТРОЛИТА	251
69	Д.П. Лопатин. УТИЛИЗАЦИЯ И ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ	255
70	А.А. Никитина, К.Г. Кичатов, Т.Р. Просочкина. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ В ПОЛИПРОПИЛЕН В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ФИЛАМЕНТА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ	260

71	Е.М. Овсянникова, Е.А. Индейкин. ВЛИЯНИЕ МАТИРОВАНИЯ ПОЛИЭФИРНЫХ ПОРОШКОВЫХ КРАСОК НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ	263
72	Н.М. Смирнов, А.Е. Терешко. ИЗУЧЕНИЕ АДсорбЦИОННЫХ СВОЙСТВ ИОНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ	265
73	В.С. Стрельников, К.Г. Кичатов, Т.Р. Просочкина. СОЗДАНИЕ МАКЕТА РЕАКТОРА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВОГО КАУЧУКА	267
74	М.В. Феоктистов, Я.В. Кудрявцев. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗООКСИДНЫХ ПИГМЕНТОВ И ПОКРЫТИЙ НА ИХ ОСНОВЕ	270
75	А.П. Черепанов, М.А. Клишкин, С.П. Ломакин, Т.Р. Просочкина. КАТАЛИЗАТОРЫ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ	273
76	А.В. Яковлева, М.В. Кузьмин, О.А. Коляшнин. СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АМИНОСИЛОКСАНОВ	276

СЕКЦИЯ «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ»

77	М.Ю. Баланиук, М.Ю. Вождаева. НАПРАВЛЕНИЯ ПОИСКОВЫХ РАБОТ В ОБЛАСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ВОДООЧИСТКИ	278
78	В.А. Борзенко, М.А. Жаров, С.В. Хатюшин. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ СУЛЬФИДОВ В КОНТЕКСТЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ СТОКОВ КОЖЕВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	283
79	М.Ф. Бычков, А.Г. Липин. ПОЛИМЕРНЫЙ ПОРОШОК ИЗ ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНА	287
80	А.М. Геннадьева, В.М. Аргамонов, В.В. Березин. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕМНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ	290
81	А.М. Геннадьева, Р.Э. Калаев, А.Н. Мусинова. ОЧИСТКА КАДМИЙСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИКИ	294
82	А.А. Гусева, У.К. Маркова, В.К. Леонтьев, М.А. Юровская. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ	298
83	Н.В. Жарова, О.В. Ладыгина, А.С. Данилова. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛА	301
84	С.В. Жеглов, А.В. Павлов, В.В. Макарыш. ВЛИЯНИЕ ИОНОВ МЕДИ НА КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ОЛИГОМЕРОВ ПОЛИГЛИЦЕРИНТЕРЕФТАЛАТА	306

- 85 **И.А. Кононов, Е.В. Федотова, С.Д. Тимрот.** ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ГЕКСАФТОРБУТАДИЕНА 310
- 86 **А.Д. Копинкова, И.Г. Тихонова.** ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В ВОДОПОДГОТОВКЕ 315
- 87 **С.А. Кораблева, Л.М. Соболева, О.Н. Кораблева.** РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ СИСТЕМ НАДЗЕМНОЙ ПРОКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДОВ 318
- 88 **Д.Н. Лосева, М.В. Королев, А.А. Гусева.** ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ 322
- 89 **Р.Р. оглы Насибов, П.А. Загорец, Н.Ю. Алешина.** ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ 329
- 90 **А.А. Рябиков, С.В. Натареев.** ПЕРЕХОДНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ЕМКОСТНОГО АППАРАТА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ 333
- 91 **Э.М. Сафиуллин, Т.Р. Насибов, О.В. Ладыгина.** ФОСФАТЫ В РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЯРОСЛАВЛЯ 337
- 92 **А.С. Соколова, А.С. Нефедова, Н.Ю. Алешина.** ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ИОННОГО ОБМЕНА 340
- 93 **И.Г. Тихонова, А.Д. Копинкова.** ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЧИСТКИ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ШАХТНЫХ ВОД 343
- 94 **Д.А. Билецкая, Ю.А. Колмаков.** ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗВИТИЮ ПРАКТИК НАСТАВНИЧЕСТВА ДЛЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 346
- СЕКЦИЯ «ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ»**
- 95 **Ж.С. Соколова, А.Н. Жаров.** МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИКИ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ 366
- СЕКЦИЯ «ДОРОЖНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА И ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ»**
- 96 **А.С. Борисов, Н.С. Кучинов, Е.С. Буданова.** ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛИНГА В РФ 359

97	Н.С. Кучинов, А.С. Борисов, Е.С. Буданова. МЕТОДЫ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛИНГА В РФ И ЗА РУБЕЖОМ	364
98	А.Д. Магазинок, Д.Н. Герасимова, Р.В. Разяпов, Е.С. Буданова. ОСОБЕННОСТИ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ	369
99	И.А. Смирнов, Е.С. Буданова. ОБЗОР ОСНОВНЫХ ДЕФЕКТОВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ П ДКЗ	374
100	Д.В. Волков. ВВЕДЕНИЕ ЗОН ОГРАНИЧЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА: ПРИНЦИПЫ И ПРЕИМУЩЕСТВА	378
101	А.С. Борисов, Н.А. Мирошников, Д.В. Герасимов. УСТРОЙСТВО СНЕГОПЛАВИЛЬНЫХ ПУНКТОВ: ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ	382
102	Н.А. Мирошников. СТАЦИОНАРНЫЕ СНЕГОПЛАВИЛЬНЫЕ СТАНЦИИ ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ РАЗМЕЩЕНИЯ В ЧЕРТЕ ГОРОДА	386
103	Е.Д. Соколов, Д.В. Герасимов. К ВОПРОСУ УСТРОЙСТВА ТРАМВАЙНЫХ ПУТЕЙ	390
104	Н.С. Старостин, А.В. Морозова, Д.В. Герасимов. ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФОГИПСА В КАЧЕСТВЕ МИНЕРАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО В ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЯХ	394
105	Т.М. Гусева, И.В. Калинина. РЕМОНТНЫЕ КОМПЛЕКТЫ ГРМ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ЗМЗ-409	399
106	И.Х. Ибрагимов, В.М. Дудин. УСИЛЕНИЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ. МЕТОДЫ. ПЕРСПЕКТИВЫ	405
107	А.Ю. Пучков, В.М. Дудин. ПОВТОРНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА. МЕТОД ГОРЯЧЕЙ РЕГЕНЕРАЦИИ	409
108	О.С. Чанова. КОНТРАКТЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ: РЕАЛИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ	413
109	Ю.П. Нечаев, В.В. Иродов. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ АВТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ	417
110	Я.В. Баскакова, Ю.С. Кашенков. МЕТОДЫ БЕРЕГОУКРЕПЛЕНИЯ И АНАЛИЗ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА УГЛИЧСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ)	423
111	С.В. Корнев, Ю.С. Кашенков. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ПРИРОДНОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ	429

- 112 **Л.А. Ляпунова, К.А. Куликова.** ИССЛЕДОВАНИЕ ЕРС-
КОНТРАКТОВ НА МИРОВОМ РЫНКЕ И ОБОСНОВА-
НИЕ ПРЕИМУЩЕСТВ ОТ ИХ ВНЕДРЕНИЯ В СТРОИ-
ТЕЛЬСТВО 433
- 113 **А.В. Никифорова, К.А. Куликова.** ПРЕИМУЩЕСТВА
INDORCAD/ROAD ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМО-
БИЛЬНЫХ ДОРОГ 436
- 114 **И.И. Самолетов, К.А. Куликова.** К ВОПРОСУ ПРОЕКТИ-
РОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ГОРНОЙ МЕ-
СТНОСТИ 440
- 115 **А.Э. Баширова, Э.И. Каюмова.** ПРОЕКЦИОННЫЙ ПЕ-
ШЕХОДНЫЙ ПЕРЕХОД 443
- 116 **Д.Н. Герасимова, Э.И. Каюмова.** ТЕХНОЛОГИИ И ПРИ-
МЕНЕНИЕ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ АС-
ФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ 447
- 117 **А.В. Калинин, О.В. Ладыгина.** АНАЛИЗ ИНДИКАТОРОВ
БЛАГОУСТРОЙСТВА И ОЗЕЛЕНЕНИЯ Г. ЯРОСЛАВЛЯ В
СООТВЕТСТВИИ С ЦЕЛЯМИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ 450
- 118 **А.А. Моисеев, О.В. Ладыгина.** НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗ-
ВИТИЯ МАЛЫХ ГОРОДОВ 454
- 119 **А.А. Пасхина, О.В. Ладыгина.** СОВМЕЩЕННОЕ ДВИ-
ЖЕНИЕ ТРАМВАЕВ И АВТОМОБИЛЕЙ КАК ОПТИ-
МАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ
ГОРОДОВ НА ПРИМЕРЕ г. ЯРОСЛАВЛЯ 458
- 120 **В.А. Шилов, О.В. Ладыгина.** ПРИМЕНЕНИЕ ГИСТЕХ-
НОЛОГИЙ В ИССЛЕДОВАНИИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗ-
ДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ ГОРОДА УГЛИЧ 461
- 121 **Р.Д. Половченя, Д.В. Лебедев.** ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗО-
ВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДОРОЖНОМ
СТРОИТЕЛЬСТВЕ 466
- 122 **Е.А. Веревкина, Д.В. Лебедев.** ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗО-
ПАСНОСТЬ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОГ 470
- 123 **А.С. Корыгов, А.В. Маркелов.** ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ
СМАЗОЧНЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ 474
- 124 **Д.А. Куприянова, А.В. Маркелов.** РАЗРАБОТКА СИС-
ТЕМЫ ТОРМОЗ-НАКАТ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПРИ-
ЦЕПОВ 478
- 125 **Б.П. Трофименко, А.С. Корыгов.** АНАЛИЗ ПРИЧИН
НИЗКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН 481

- 126 **Л.О. Огурцов, Л.М. Соболева, А.В. Маркелов, В.В. Соловьев.** ИТОГИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ 485
- 127 **Л.О. Огурцов, Л.М. Соболева, А.В. Маркелов, В.В. Соловьев.** РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ МАСЕЛ НА УСТАНОВКЕ КМ-2 ПАО «Славнефть-ЯНОС» 488
- 128 **Л.О. Огурцов, Л.М. Соболева, А.В. Маркелов, В.В. Соловьев.** ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕЛЕКТИВНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ 492
- 129 **А.А. Ладыгина, Г.А. Фоменко.** ВНЕДРЕНИЕ ПРИРОДОСОВМЕСТИМЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА 496
- 130 **И.С. Алешковская, В.А. Шилов.** ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ 501
- 131 **Е.А. Веревкина, Р.Д. Половченя, А.А. Шестаков, В.А. Шилов.** УСТРОЙСТВО АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ 507
- 132 **Д.А. Митягин, В.А. Шилов.** РАЗРАБОТКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЩЕСТВЕННОГО ПРОСТРАНСТВА НА ПЛОЩАДИ ТРУДА Г. ЯРОСЛАВЛЯ ПРИ ПОМОЩИ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ 514
- 133 **Д.П. Бобарыкин, М.С. Балунов.** ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И СРЕДСТВА. ПОВЫШЕНИЯ ПРОХОДИМОСТИ МАШИН 520
- 134 **А.Е. Гладышев, А.С. Кутумов, М.С. Балунов.** ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВОЕННУЮ ТЕХНИКУ 524
- 135 **Д.И. Кияницкий, М.С. Балунов.** ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЕЙ. КАК ОНИ БУДУТ ВЫГЛЯДЕТЬ В БЛИЖАЙШЕЕ ВРЕМЯ 527
- 136 **Р.Р. Конспаев, Е.Е. Гайдей И.М. Черкасов М.С. Балунов.** ЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДИТЕЛЯ К НЕСТАНДАРТНЫМ СИТУАЦИЯМ 531
- 137 **Д.А. Пономарев, А.С. Кутумов, М.С. Балунов.** ВИДЫ ТАКТИКИ ВЕДЕНИЯ БОЯ. ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ВС РФ 536

- 138 **П.А. Родичкин, М.С. Балунов.** ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ БАЗОВЫХ ШАССИ 539
- 139 **П.В. Ройхка, В.В. Капралов.** ПРИМЕНЕНИЕ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ ВОЙСК В ВОЙНАХ И ВООРУЖЕННЫХ КОНФЛИКТАХ 542
- 140 **А.Д. Якунин, А.А. Быков, А.М. Канаев.** ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ СТРАН НАТО И РОССИИ В УСЛОВИЯХ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ 544
- 141 **Д.А. Кирпичникова, А.И. Ахременко.** ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ГАЗОПРОВОДА «ЗОЛЬНОЕ-ЖИГУЛЕВСК» В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ 548
- 142 **А.Е. Княжева, А.И. Ахременко.** МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПОСЕЛКА БОРИСОГЛЕСЬКИЙ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ 552
- 143 **С.А. Растворова, А.И. Ахременко.** ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ДОБЫЧИ НЕРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ 556

СЕКЦИЯ «НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ»

- 144 **М.М. Агейчева.** ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОНТЕЙНЕРНОГО КРАНА НА ОСНОВЕ ПОДГОТОВКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ 560
- 145 **К.С. Акимов, Н.С. Семёнов, Д.И. Трошин.** РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ШАССИ 564
- 146 **Д.В. Афанасьев, И.В. Разгулов.** МЕТОДЫ РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДЯНЫХ ПОКРОВОВ 567
- 147 **М.А. Афанасьев, И.С. Тюремнов.** АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВИБРОПЛИТ 570
- 148 **И.А. Воробьёв, А.С. Краюшкин.** ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВНЕДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ 574
- 149 **А.В. Воробьёв, А.В. Сюрсин.** РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ 578
- 150 **А.С. Всемирнов, И.С. Тюремнов.** МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗАВИНЧИВАНИЯ ВИНТОВЫХ СВАЙ 582
- 151 **Д.А. Гончаренко, Л.М. Шамахов.** АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ 585
- 152 **Е.С. Ескин, О.Ю. Улитич, В.Б. Сердобов.** СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОГ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ТЕХНИКИ 590

153	М.Ю. Ёылмаз. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ОТ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭНКОДЕРА	594
154	В.В. Алексеев, И.Е. Ершов, Л.М. Шамахов. КЛАССИФИКАЦИЯ НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЕ МОТОБЛОКА	598
155	Д.М. Камнев, Д.И. Трошин. НАЛЕДИ НА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЯХ: КЛАССИФИКАЦИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ	601
156	Ф.В. Камардин, Г.В. Селиверстов. КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ МАШИН	606
157	А.А. Кардаманова, А.А. Лебедева. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ОЦЕНКЕ НАПРЯЖЕНИЙ КРАНОВЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	609
158	А.А. Кардаманова, А.А. Лебедева. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЛЯ НЕСКВОЗНЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ	613
159	А.В. Комаров, Г.В. Селиверстов. ПОВЫШЕНИЕ МАНЕВРЕННОСТИ АВТОГРЕЙДЕРОВ С ПОЛНОПРИВОДНОЙ ТРАНСМИССИЕЙ	618
160	Т.А. Краснобаев, М.А. Афанасьев, Д.В. Фурманов. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА СТРОПОВКИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ФЕРМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ANSYS	621
161	Т.А. Краснобаев, Д.В. Фурманов. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ	625
162	А.С. Красников, Ю.Г. Попов. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА IOSO	629
163	А.С. Лизунов. ВАЛИДАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ КОЗЛОВОГО КОНТЕЙНЕРНОГО КРАНА НА ТЕРМИНАЛЕ	634
164	А.С. Лапин, Д.А. Малахов, Л.М. Шамахов. ОЦЕНКА ИННОВАЦИЙ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МАШИН ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ	638
165	Д.А. Мамадризов, И.С. Тюремнов. РЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «РАМА-ВАЛЕЦ КАТКА-ГРУНТ»	641
166	М.Д. Макаров, А.Л.Трофимов, А.Ю. Андреев. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНТАЖА ПРОТИВОВЕСОВ АВТОКРАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕРХТЯЖЁЛОГО БЕТОНА	645

- 167 **В.В. Минин, Г.А. Кузнецов, К.Н. Бутрим, Р.М. Сайботалов.** ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СОРТИРОВОЧНОГО КОВША ЭКСКАВАТОРА 648
- 168 **Н.Р. Потехин, А.Л. Трофимов, Д.В. Беспалов.** МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА АВТОМОБИЛЬНОГО КРАНА КС-55713-5 652
- 169 **Б.А. Раздобарин, А.А. Юрченко, Р.Е. Литовченко, С.В. Савельев.** К ВОПРОСУ О ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОМ ДОРОЖНОМ КАТКЕ С РАБОЧИМ ОРГАНОМ, ИЗМЕНЯЮЩИМ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЁСТКОСТИ 656
- 170 **И.В. Ромашкин, А.Д. Федоров, Н.Э. Лысаков.** К ВОПРОСАМ О РАЗРАБОТКЕ РАМЫ ДЛЯ НАВЕСНОЙ ДОРОЖНОЙ ФРЕЗЫ 660
- 171 **А.В. Rogozkin, А.Л. Трофимов, А.А. Байданов.** ТРАНСШЕЙНАЯ МАШИНА ДЛЯ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ 664
- 172 **Д.Н. Тихонов, А.А. Вьюшин.** К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ СПОРТИВНЫХ ВЕЛОСИПЕДОВ 667
- 173 **Н.А. Тихонов, К.В. Бугаевский, Л.М. Шамахов.** ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЛЯЖЕУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ В РОССИИ 672
- 174 **А.Л. Трофимов, А.Ю. Андреев.** ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТЕНКИ БАРАБАНА С НАРЕЗКОЙ ТИПА «ЛЕБУС» С ИННОВАЦИОННОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ РЕБОРДЫ 676
- 175 **А.И. Тюремнов, Д.Н. Тихонов, Д.А. Шорохов, И.С. Тюремнов.** МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ АМОРТИЗАТОРОВ ВАЛЬЦА ВИБРАЦИОННЫХ КАТКОВ 681
- 176 **А.В. Узлов, Н.Е. Тарасова.** РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МУЛЬЧЕРА НА БАЗЕ ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА 686
- 177 **К.Ю. Фролов, Д.В. Шурыгин.** СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПРИВОДА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ 690
- 178 **А.М. Шишов.** ТЕЛЕЖКА СКЛАДСКАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ 695
- 179 **М.В. Шмелев, Л.М. Шамахов.** ОБЗОР СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ НА ГУСЕНИЧНОМ ХОДУ 700
- 180 **Д.А. Шорохов, И.С. Тюремнов.** ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ГРУНТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS 703

СЕКЦИЯ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»

- 181 **А.Э. Огородников, М.С. Балунев.** АВИАЦИОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С БЕСШАТУННЫМ ПРИВОДНЫМ МЕХАНИЗМОМ 708
- 182 **Е.М. Булин, А.В. Васильева.** О ПОСТАНОВКЕ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ В РАСШИРЯЮЩЕМСЯ ТРУБОПРОВОДНОМ КАНАЛЕ 712
- 183 **Д.Д. Давыдова, А.В. Рябчик, А.Е. Савенко.** ОСОБЕННОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ 716
- 184 **М.С. Ладыгин, А.П. Перепелин.** МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СМАЗКИ БЕЗОСЕВОГО ТОЛКАТЕЛЯ ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ COMMON RAIL 720
- 185 **А.А. Мишин, М.С. Фонарёв, С.Г. Кондаков.** ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ СЕРИИ 4310 724
- 186 **М.С. Новоселова, Г.Р. Мингалеева.** СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГАЗОТУРБОСТРОЕНИЯ В РОССИИ 727
- 187 **Р.Г. Теймуров, М.С. Балунев.** ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ВС РФ 730
- 188 **Л.А. Цветков, К.Е. Шишков, А.С. Федотов, М.С. Балунев.** ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 733
- 189 **Е.С. Снежинская, Р.С. Литвиненко.** ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОТОКА И ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИКИ В АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ 736
- 190 **А.Д. Панькина, А.А. Медяков.** ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 739

СЕКЦИЯ «НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА И НЕФТЕХИМИЯ»

УДК 542.973:542.943

ОКИСЛЕНИЕ ЦИКЛОГЕКСЕНА ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА НА АМОРФНОМ ТИТАНОСИЛИКАТНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ

А.М. Алшейх¹, Т.Р. Просочкина¹, В.Р. Бикбаева^{1,2}

Научный руководитель – **В.Р. Бикбаева**, канд. хим. наук, доцент

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет

²Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН

Окисление циклогексена на титаносиликатных катализаторах служит для получения окиси циклогексена, циклогексенона и циклогексенола. В работе изучено влияние параметров реакции и природы катализатора на конверсию циклогексена и селективность образования продуктов.

Ключевые слова: циклогексен, титаносиликаты, гетерогенный катализ, перекись водорода

OXIDATION OF CYCLOHEXENE WITH PEROXIDE HYDROGEN ON AMORPHOUS TITANOSILICATE CATALYST

А.М. Alsheikh¹, Т.Р. Prosochkina¹, V.R. Bikbaeva^{1,2}

Scientific Supervisor – **V.R. Bikbaeva**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

¹Ufa State Petroleum Technological University

²Institute of Catalysis and Petrochemistry UFRC RAS

The oxidation of cyclohexene on titanosilicate catalysts serves to produce cyclohexene oxide, cyclohexenone and cyclohexenol. In this work, the influence of reaction parameters and the nature of the catalyst on the conversion of cyclohexene and the selectivity of product formation was studied.

Keywords: cyclohexene, titanosilicates, heterogenous catalysis, hydrogen peroxide

Титаносиликаты широко известны как катализаторы эпоксицирования. Например, получение окиси пропилена на титаносиликатном ката-

лизаторе TS-1 уже успешно применяется в промышленности [1]. Более того, титаносодержащие молекулярные сита применяют для гидроксирования фенола [2], реакций окислительного десульфурования [3].

Применение титаносиликатных каталитических систем позволяет использовать в качестве окислителя пероксида водорода. Это популярный, доступный и экологичный окислительный агент. После реакции не образуется никаких отходов, кроме воды, и эта перекись дешевле, чем, например, $t\text{-BuOOH}$.

Однако, для окисления крупных молекул, таких как циклогексен, промышленные титаносиликаты с микропористой структурой малоприменимы. Для эффективного эпоксидирования объемных молекул предлагается применять аморфные мезопористые титаносиликаты.

Целью данной работы является создание эффективного и доступного катализатора на основе аморфного мезопористого титаносиликата для окисления циклогексена [4].

В работе использовали аморфные мезопористые титаносиликаты, полученные низкотемпературным золь-гель синтезом. Метод основан на бестемплатном способе получения каталитически активных титаносиликатов, получаемых с изменением pH при 60 °C. Синтезированные образцы различаются содержанием титана ($\text{Si/Ti} = \text{от } 40 \text{ до } 120$).

Изучены физико-химические свойства полученных образцов титаносиликатов. В ИК-спектрах образцов присутствует полоса поглощения при $\sim 960 \text{ см}^{-1}$, которая свидетельствует об образовании связи Ti-O-Si. Удельная площадь поверхности достигает $495 \text{ м}^2/\text{г}$, объем микропор $0,05 \text{ см}^3/\text{г}$, объем мезопор $0,89 \text{ см}^3/\text{г}$.

Изучено влияние различных параметров, таких как температура, соотношение реагентов, количество катализатора на конверсию циклогексена и селективность образования продуктов. Рассмотрено влияние содержания титана, способа синтеза катализаторов на их каталитические свойства в реакции жидкофазного окисления циклогексена пероксидом водорода.

Установлено, что образцы с модулем $\text{Si/Ti} = 80$ активны уже при 40 °C. Конверсия циклогексена достигает 30%. С увеличением температуры до 60 °C может быть достигнута практически полная конверсия циклического алкена. С помощью метода ГХ-МС подтверждено, что в реакционной смеси содержатся 2-циклогексен-1-ол, 2-циклогексен-1-он и окись циклогексена.

Таким образом, показано, что разработанные титаносиликаты обладают каталитической активностью в реакции эпоксидирования циклогексена. Предварительные результаты указывают на перспективность применения обсуждаемых катализаторов в мягких условиях (20-40 °C).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. HPPO Process Technology A novel route to propylene oxide without coproducts / F. Schmidt [et al.] // *Chimica Oggi/Chemistry Today*. 2014. Vol. 32. P. 31–35.
2. *Smeets V.* Titanosilicate Epoxidation Catalysts: A Review of Challenges and Opportunities / V. Smeets, E.M. Gaigneaux, D.P. Debecker // *ChemCatChem*. 2022. Vol. 14, № 1. P. e202101132.
3. Titanium-rich TS-1 zeolite for highly efficient oxidative desulfurization / R. Bai [et al.] // *Green Energy & Environment*. 2023. Vol. 8, № 1. P. 163–172.
4. Nontemplate sol–gel synthesis of catalytically active mesoporous titanosilicates / R.U. Kharrasov [et al.] // *Catal. Ind.* 2016. Vol. 8, № 4. P. 287–292.

УДК 621.644.8

О ВЛИЯНИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРАНСФЕРНОГО ТРУБОПРОВОДА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ УСТАНОВКИ АВТ

Е.В. Анисимова, В.А. Пинаевская, А.В. Тарасов

Научный руководитель – **А.В. Тарасов**, д-р хим. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются изменения технико-экономических показателей установки АВТ с помощью сопротивления трансферного трубопровода.

Ключевые слова: трансферный трубопровод, показатели работы установки

ON THE INFLUENCE OF TRANSFER PIPELINE RESISTANCE ON TECHNICAL AND ECONOMIC PERFORMANCE OF THE AUTOTRANSFER UNIT

E.V. Anisimova, V.A. Pinaevskaya, A.V. Tarasov

Scientific Supervisor – **A.V. Tarasov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

Changes in technical and economic indicators of the AVT installation with the help of transfer pipeline resistance are considered.

Keywords: transfer pipeline, plant performance indicators

Бензин, керосин, дизельное топливо (ДТ) - одни из наиболее крупнотоннажных продуктов отечественной нефтепереработки. На Российских нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) за 2022 г. было переработано 270 млн тонн нефти. В России выпуск специальных зимнего дизельного топлива (ДТЗ) и авиационного керосина всегда, и сейчас особенно, является одной из приоритетных задач. Возникает необходимость увеличения объемов выпуска зимних сортов дизельного топлива для удовлетворения возрастающих потребностей внутреннего рынка и обеспечения энергетической устойчивости страны в целом. Таким образом, организация и увеличение производства таких значимых для повышения качества

жизни населения и устойчивого развития экономики России продуктов нефтепереработки, как авиационное топливо и дизельное топливо, становится крайне актуальным.

Для разделения нефти на первичные фракции на установках АВТ используются сложные колонны К-2 традиционных установок атмосферно-вакуумной трубчатki с раздельным выводом керосина (К-3/1) легкого (К-3/2) и тяжелого (К-3/3) дизельных топлив. Увеличение выпуска различных прямогонных продуктов происходит за счет улучшения четкости деления в основных ректификационных колоннах атмосферно-вакуумной трубчатki.

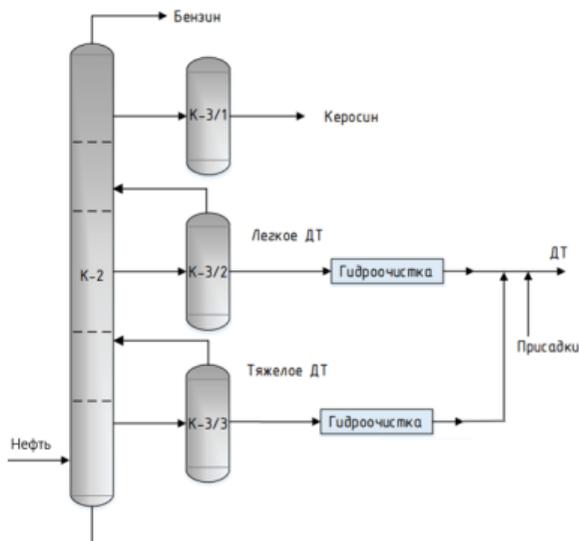


Рис. 1. Разделение нефти на первичные фракции с использованием сложных колонн

Колонна К-2 работает при наличии ряда ограничений, к которым, в первую очередь, относится отсутствие кипятыльника в колонне. Это значит, что все тепло и вся паровая фаза, необходимая для ректификации, должны приходить в колонну вместе с питанием. Следующим ограничением является максимальная температура нагрева нефти в печи перед колонной, ограниченная значением 370 °С. Таким образом, и качество ректификации, и количество продуктов, которые можно получить в колонне К-2, целиком зависят от доли испарения нефти на входе в колонну. Из-за наличия сопротивлений так называемого трансферного трубопро-

вода, связывающего печь и сложную колонну К-2, давление нефти на выходе из печи выше, чем давление на входе в колонну. А высокое давление на выходе из печи при наличии ограничений по максимальной температуре нагрева нефти в печи снижает возможную долю испарения нефти со всеми вытекающими негативными последствиями.

Таким образом, на каждой установке АВТ существует потенциальный резерв повышения выхода светлых и качества ректификации, связанный со снижением сопротивления трансферного трубопровода. Большинство старых установок АВТ за время эксплуатации были неоднократно реконструированы на предмет увеличения производительности, при этом реконструкция трансферных линий часто не проводилась. В итоге скорость движения паров в них растет, одновременно с этим растет сопротивление и как следствие падает выход светлых. В работе ставится задача проанализировать состояние узла печь-трансферная линия-колонна К-2 одного из предприятий отрасли. Разработана модель установки АВТ для учета влияния параметров трансферной линии на качество и количество получаемых продуктов.

Расчеты показали, что существует возможность снижения сопротивления трансферного трубопровода. Проведен анализ влияния сопротивления трансферного трубопровода на технико-экономические показатели работы установки АВТ, перерабатывающей 5 млн т нефти в год. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Расчет влияния сопротивления трансферного трубопровода на технико-экономические показатели работы установки АВТ

Параметр	Сопротивление трансферной линии, кПа					
	415	365	315	265	215	165
Давление на выходе из печи, кПа	600	550	500	450	400	350
Температура на выходе из печи, °С	370	370	370	370	370	370
Давление на входе в колонну, кПа	185	185	185	185	185	185
Температура на входе в колонну, °С	356,5	357,7	358,9	360,0	361,7	363,3
Расход пара после печи, т/ч	147,0	160,0	173,7	188,3	204,0	220,8
Расход пара перед колонной, т/ч	265,2	267,4	269,7	272,3	274,9	277,9

Окончание таблицы 1

Параметр	Сопротивление трансферной линии, кПа					
	415	365	315	265	215	165
Тепло, приходящее с питанием колонны, МВт	169,8	170,5	171,3	172,1	173,0	174,0
Прибавка к расходу паров нефти, т/ч	-	2,13	2,33	2,57	2,62	2,98
Температура на входе в колонну, °С	356,5	357,7	358,9	360,0	361,7	363,3
Расход пара после печи, т/ч	147,0	160,0	173,7	188,3	204,0	220,8
Расход пара перед колонной, т/ч	265,2	267,4	269,7	272,3	274,9	277,9
Тепло, приходящее с питанием колонны, МВт	169,8	170,5	171,3	172,1	173,0	174,0
Прибавка к расходу паров нефти, т/ч	-	2,13	2,33	2,57	2,62	2,98

Из таблицы следует, что с уменьшением сопротивления трансферной линии от 414 до 165 кПа растет температура питания колонны (от 356 до 363 °С), растет количество тепла, приходящее в колонну с питанием (от 170 до 174 МВт), а главное растет количество нефти, приходящей в колонну в паровой фазе (от 265 до 278 т/ч).

В среднем, на каждые 50 кПа снижения сопротивления в трансферном трубопроводе, доля отгона нефти в печи увеличивается на 2,5 т/ч. Расчеты показывают, что ровно половина от этого количества (1,25 т/ч) приходится на фракции нефти, выкипающие до 360 °С, т.е. именно на те компоненты, которые и составляют основную массу таких товарных продуктов, как бензин, керосин и дизельное топливо. Такой прирост позволяет дополнительно получать до 11,5 тыс. т в год светлых нефтепродуктов, что соответствует увеличению стоимости товарной продукции предприятия на сумму до 170 млн руб/год.

Таким образом, мероприятия по снижению сопротивления трансферной линии на типовой установке АВТ являются вероятным источником для получения дополнительной прибыли предприятия в указанном размере. Следует также учесть, что современные НПЗ имеют в своем составе от двух до трех подобных установок АВТ. Таким образом, мероприятия по снижению сопротивления трансферной линии типовых установок АВТ большой производительности являются целесообразными в том случае, если удастся добиться уменьшения сопротивления на величину от 40-50 кПа и более.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Магалиф В.Я.* Монтажное проектирование химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств / В.Я. Магалиф, Д.М. Иткина, Л.Б. Корельшейн. М.: ООО «Навигатор». 2010.
2. *Пархоменко В.Е.* Технология переработки нефти и газа. М.: Гостоптехиздат. 1953. 460 с.
3. *Рудин М.Г.* Карманный справочник нефтепереработчика / М.Г. Рудин, В.Е. Сомов, А.С. Фомин. М.: ЦНИИТЭнефтехим. 2004. 336 с.

**СИНТЕЗ 1,2-ЭПОКСИ-7-ОКТЕНА
И 1,2,7,8-ДИЭПОКСИОКТАНА ИЗ 1,7-ОКТАДИЕНА С ПО-
МОЩЬЮ ВОДНОГО РАСТВОРА ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА**

Л.А. Борзова, Н.А. Борзова, А.Е. Постнова

Научный руководитель – **А.Е. Постнова**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Изучено влияние концентрации катализатора и температуры на реакцию эпексидирования 1,7-октадиена водным раствором пероксида водорода в условиях межфазного катализа.

***Ключевые слова:** эпексидирование, 1,7-октадиен, пероксид водорода, межфазный катализ, 1,2-эпоксн-7-октен, 1,2,7,8-днэпоксноткан*

**SYNTHESIS OF 1,2-EPOXY-7-OCTENE
AND 1,2,7,8-DIEPOXYOCTANE FROM 1,7-OCTADIENE
USING AN AQUEOUS SOLUTION OF HYDROGEN PEROXIDE**

L.A. Borzova, N.A. Borzova, A.E. Postnova

Scientific Supervisor – **A.E. Postnova**, Candidate of Chemical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The effect of the catalyst concentration and temperature on the reaction of epoxidation of 1,7-octadiene with an aqueous solution of hydrogen peroxide under conditions phase-transfer catalysis has been studied.

***Keywords:** epoxidation, 1,7-octadiene, hydrogen peroxide, phase-transfer catalysis, 1,2-epoxy-7-octene, 1,2,7,8-diepoxyoctane*

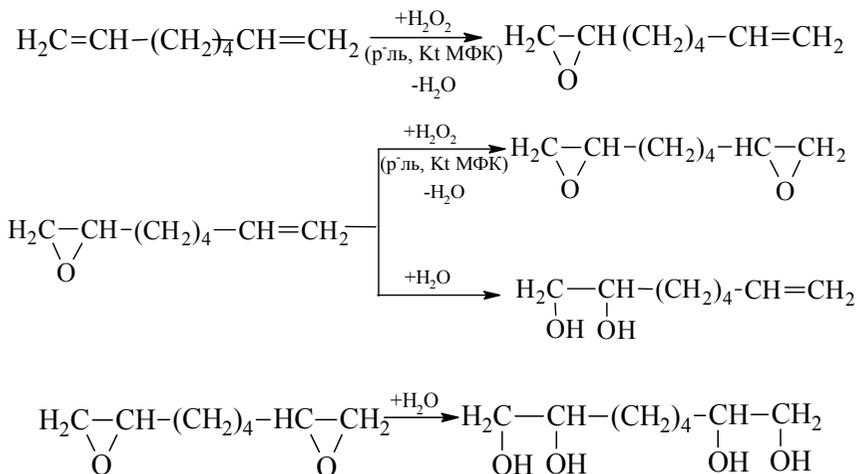
Днэпокснды и другие эпексндные производные ненасыщенных соединений, содержащих двойные связи, представляют интерес для использования в изоляционных материалах, клеях, покрытиях, конструкционных элементах и электронике.

1,2,7,8-днэпоксноткан используется в качестве связующего агента при создании пористых материалов для производства имплантов и протезов, которые способствуют более эффективному восстановлению костной

ткани. Также он применяется в качестве добавки к стеклообразным полимерам, используемым в производстве микроэлектроники, для улучшения их теплопроводности [1]. 1,2,7,8-Диепоксидоктан является эффективным связующим агентом для хитозановых адсорбентов, применяемых для удаления ионов Cr(VI) из воды и почвы [2].

Способ эпоксидирования ненасыщенных соединений с использованием пероксида водорода и гетерополикислот в присутствии катализатора межфазного переноса стал разрабатываться около сорока лет назад. Однако ограниченное количество данных имеется о применении этого метода для окисления диеновых соединений [3]. В связи с этим, мы провели исследование процесса окисления 1,7-октадиена (1,7-ОД) с использованием сокатализаторов, таких как вольфрамат натрия и фосфорная кислота, в присутствии Adogen 464 и перекиси водорода в двухфазной среде, состоящей из органического растворителя и водного раствора H₂O₂.

Реакция получения 1,2,7,8-диепоксидоктана протекает последовательно через образование 1,2-эпокси-7-октена:



Ранее нами было показано, что при проведении реакции в условиях межфазного катализа образуются моно- и диепоксиды 1,7-октадиена, но с разной скоростью.

Исследования влияния количества катализатора и температуры на показатели процесса проводились в среде растворителя о-ксилола, при начальной концентрации 1,7-ОД в органической фазе 3,4 моль/дм³ и пероксида водорода 5 моль/дм³ в водной фазе. Мольное соотношение ком-

понентов каталитического комплекса (вольфрамата натрия, фосфорной кислоты и катализатора межфазного переноса Adogen 464) составляло 1 : 1 : 0,36. рН водной фазы поддерживался на уровне 2,0-3,0.

Увеличение концентрации каталитического комплекса приводит к ускорению расходования пероксида водорода (рисунок 1). Однако при содержании вольфрамата натрия в водной фазе свыше 0,09 моль/дм³ резко возрастает доля неселективного распада H₂O₂, снижаются выходы как 1,2-эпокси-7-октена, так и 1,2,7,8-диэпоксиоктана, причем диэпоксида в большей степени. Уменьшение концентрации катализатора ниже 0,03 моль/дм³ также нецелесообразно, так как приводит к неоправданному увеличению времени реакции. Рекомендованная нами начальная концентрация каталитического комплекса составляет от 0,06 до 0,09 моль/дм³ вольфрамата натрия в водной фазе.

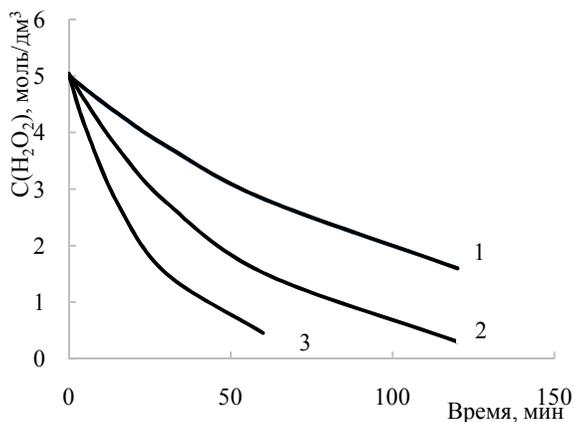


Рис. 1. Зависимость изменения концентрации H₂O₂ во времени от концентрации катализатора.

Концентрация катализатора: 1 - 0,03; 2 - 0,09; 3 - 0,12

При повышении температуры скорость окисления как по первой, так и по второй двойной связи возрастает (рис. 2). При 50 °С соотношение моно- и диэпоксидов в продуктах реакции составляло 6,2 к 1, а при 80 °С уже 3,9 к 1. Дальнейшее повышение температуры до 90 °С не привело к увеличению выхода целевых продуктов, поэтому рекомендовано проводить процесс при температуре 70-80 °С.

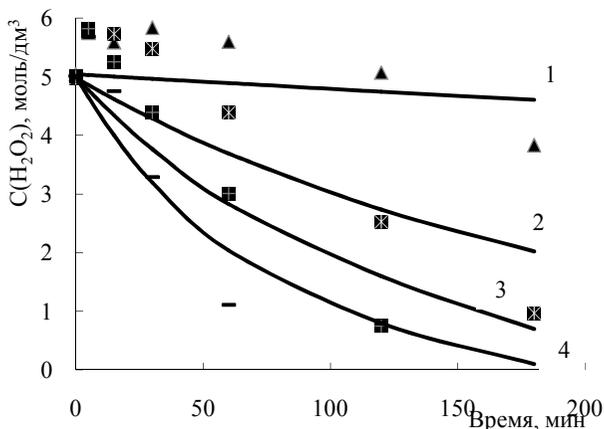


Рис.2. Зависимость изменения концентрации H₂O₂ во времени от температуры реакции.
 Температура протекания реакции: 1 - 50 °C; 2 - 70 °C; 3 - 80 °C; 4 - 90 °C

Во всех случаях процесс протекал селективно по эпоксидам, сколько-нибудь заметного образования продуктов их гидратации не обнаружено. Однако не во всех случаях удалось достигнуть полной конверсии 1,7-ОД, что связано с его относительно низкой реакционной способностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Liu. Y.* Fabrication of High-Strength and Porous Hybrid Scaffolds Based on Nano-Hydroxyapatite and Human-Like Collagen for Bone Tissue Regeneration / Y. Liu, J. Gu, D. Fan // *Polymers*. 2020. Vol. 12, № 1.
2. *Mohammadtaghi V.* Novel crosslinked chitosan for enhanced adsorption of hexavalent chromium in acidic solution / V. Mohammadtaghi, D. Shubo, L. Tong, W. Wang, W. Wenjing, Y. Gang // *Chemical Engineering Journal*. 2018. Vol. 347. P. 782-790.
3. *Wang M.* Kinetic Study of the Epoxidation of 1,7-Octadiene under Phase-Transfer-Catalysis Conditions / M. Wang // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2004. Vol. 43. P. 675-681.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
1,5-ЦИКЛООКТАДИЕНА С ВОДНЫМ РАСТВОРОМ
ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В УСЛОВИЯХ МЕЖФАЗНОГО
КАТАЛИЗА**

Н.А. Борзова, Л.А. Борзова, А.Е. Постнова

Научный руководитель – **А.Е. Постнова**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проанализировано влияние изменения начальной концентрации 1,5-циклооктадиена и пероксида водорода в условиях межфазного катализа на образование и превращение продуктов в процессе эпексидирования 1,5-циклооктадиена.

Ключевые слова: эпексидирование, 1,5-циклооктадиен, 1,2-эпокси-5,6-циклооктен, 1,2,5,6-диэпоксиоктан, пероксид водорода, межфазный катализ

**INVESTIGATION OF
1,5-CYCLOOCTADIENE INTERACTION
WITH AQUEOUS SOLUTION OF HYDROGEN PEROXIDE
UNDER CONDITIONS OF PHASE-TRANSFER CATALYSIS**

N.A. Borzova, L.A. Borzova, A.E. Postnova

Scientific Supervisor – **A.E. Postnova**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The effect of changing the initial concentration of 1,5 cyclooctadiene and hydrogen peroxide under phase transfer catalysis conditions on the formation and transformation of products during the epoxidation of 1,5 cyclooctadiene was analyzed.

Keywords: epoxidation, 1,5-cyclooctadiene, 1,2-epoxy-5,6-cyclooctene, 1,2,5,6-diepoxyoctane, hydrogen peroxide, phase transfer catalysis

Процесс эпексидирования органических соединений широко используется в промышленной химии для получения ценных потребительских продуктов. Эпексидные производные циклических диенов с успе-

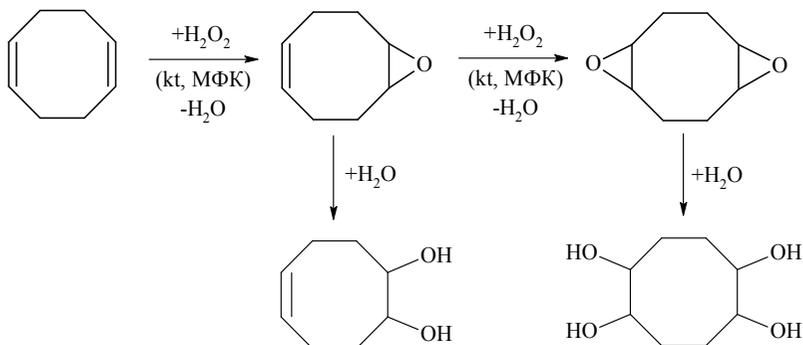
хом используются в качестве исходных материалов для эпоксидных смол, каучуков, клеев, стабилизаторов, пенообразователей, поверхностно-активных веществ, компонентов для биотехнологии и кожевенной промышленности. Создание композитов высокой прочности осуществляется с использованием сополимеров 1,2,5,6-диэпоксициклооктана в качестве сшивающего агента вместо диизоцианатов [1], как компонент высокопрочных и стойких адгезионных составов [2].

Для получения органических соединений с эпоксидным кольцом разработано множество методов, включая окисление непредельных углеводов молекулярным кислородом, надкислотами, органическими гидропероксидами и, в частности, пероксидом водорода.

Перспективный путь синтеза циклических эпоксидов - окисление циклоолефинов водными растворами пероксида водорода. Этот подход привлекает своей простотой и мягкими условиями реакции, что достигается благодаря высокой активности пероксида водорода. Также у пероксида водорода большая удельная доля активного кислорода, и в результате реакции образуется вода, которую не нужно дополнительно обрабатывать или утилизировать [3].

Представленное направление получения эпоксидных производных указывает на возможность комплексного использования 1,5-циклооктадиена для получения целого ряда кислородсодержащих алициклических соединений, в том числе: моно- и диэпоксидов, 1,2-диолов, 1,2,5,6-тетраолов, имеющих самостоятельное применение в различных областях химии, биологии, медицины. Циклические олефины и диены эпоксидируются гораздо легче, чем их линейные аналоги. На показатели реакции влияет структура окисляемого циклоолефина.

Так как в молекуле 1,5-циклооктадиена есть две двойные связи, то взаимодействие его с водным раствором пероксида водорода можно представить следующими реакциями:



Процесс проводили в двухфазной системе в присутствии каталитической системы из вольфрамата натрия, фосфорной кислоты и катализатора межфазного переноса Adogen 464. За реакцией следили по превращению исходных веществ и накоплению продуктов химическими и хроматографическими методами.

Влияние изменения начальной концентрации ЦОД в интервале от 1,5 до 7,9 моль/дм³ в органической фазе исследовали при температуре 50 °С; начальной концентрации вольфрамата натрия в водной фазе 0,03 моль/дм³. Объемное соотношение водной фазы к органической 1,6 : 1; растворитель о-ксилол; молярное соотношение Na₂WO₄·2H₂O : H₃PO₄ 1 : 1 : 0,36; pH водной фазой равно 2,5. При концентрации ЦОД 1,5 моль/дм³ избыток пероксида водорода составляет 5,5 : 1, что в 2,5 раза больше, чем требуется по стехиометрии реакции. Степень превращения ЦОД через 3 часа составила 97,6 %, а соотношение моно- и диэпоксидов равнялось 1 к 3,4. В водной фазе было обнаружено незначительное количество продуктов гидратации моноэпоксида. С увеличением начальной концентрации ЦОД в продуктах реакции наблюдается большее количество моно-, а не диэпоксициклооктана, значительного количества диолов не наблюдалось при условии сохранения постоянства pH среды.

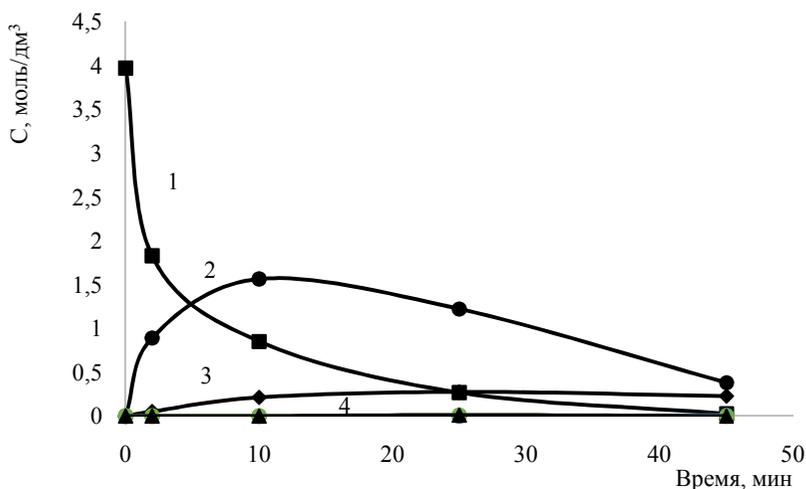


Рис. 1. Кинетические кривые расходования и накопления продуктов превращения ЦОД:

1 – 1,5-циклооктадиен; 2 – моноэпоксид; 3 – диэпоксид; 4 – диолы

Начальную концентрацию пероксида водорода изменяли в пределах от 1,54 до 10,6 моль/м³ в водной фазе при постоянной концентрации

ЦОД в органической фазе 4 моль/дм³. Соотношение H₂O₂ : ЦОД при этом менялось от 0,6 : 1 до 4,4 : 1. При увеличении избытка пероксида водорода наблюдалось повышение соотношения ди- и моноэпоксидов ЦОД, а также умеренное увеличение количества продуктов их гидратации. При максимальном избытке H₂O₂ в реакционной массе также наблюдались продукты окисления.

Типичные кинетические кривые расходования и накопления продуктов превращения ЦОД показаны на рис. 1. Общим для всех опытов является то, что скорость образования диэпоксида ЦОД значительно ниже, чем моноэпоксида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Didenko A.L.* Synthesis, Heat Resistance, and Mechanical Properties of Cross-Linked Urethane–Imide Copolymers Containing Blocks of Two Structurally Different Aliphatic Fragments (Polyether and Polyester) in the Backbone / A.L. Didenko, A.G. Ivanova, E.A. Bogdanova // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2021. Vol. 94. P. 1164-1185.
2. Пат. 2744431 Россия, МПК СО9J 163/00. Адгезивы для сборки компонентов инертного материала: опубл. 09.03.2021 / Чиампини Д.
3. *Данов С.М.* Процесс жидкофазного окисления пропилена пероксидом водорода в присутствии гетерогенного катализатора / С.М. Данов, А.Л. Балашов, Н.А. Петровская // *Химическая промышленность сегодня*. 2004. № 10. С. 17-26.

ВЛИЯНИЕ ПРЕКУРСОРА И РЕЖИМА СИНТЕЗА НА СВОЙСТВА ГЕМАТИТА, ОСНОВНОГО ИСХОДНОГО КОМПОНЕНТА ПРОМОТИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗООКСИД- НЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЕГИДРИРОВАНИЯ

А.Н. Дворецкая, Т.Н. Судзиловская

Научный руководитель – **Т.Н. Судзиловская**, канд. хим. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Методами рентгенографии и сканирующей электронной микроскопии исследована тонкая кристаллическая структура образцов гематита, основного исходного компонента промотированных железооксидных катализаторов дегидрирования. Наибольшую активность в реакции дегидрирования продемонстрировал катализатор, приготовленный на основе гематита, который был получен термоллизом сульфата железа при 950 К в условиях кипящего слоя и низкого температурного градиента, обладающего блоками мозаики 70...90 нм, с минимальной концентрацией ДУ из-за половинных и четвертичных дислокаций.

Ключевые слова: гематит, железооксидные катализаторы, прекурсор, режим синтеза, тонкая кристаллическая структура

THE EFFECT OF THE PRECURSOR AND THE SYNTHESIS MODE ON THE PROPERTIES OF HEMATITE, THE MAIN STARTING COMPONENT OF PROMOTED IRON OXIDE DE- HYDROGENATION CATALYSTS

A.N. Dvoretzkaya, T.N. Sudzilovskaya

Scientific Supervisor – **T.N. Sudzilovskaya**, Candidate of Chemical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The fine crystal structure of hematite images, the main initial component of promoted iron oxide dehydrogenation catalysts, has been studied by X-ray and scanning electron microscopy. The greatest activity in the dehydrogenation reaction was demonstrated by a catalyst prepared on the basis of hematite, which was obtained by thermolysis of iron sulfate at 950 K under conditions of a fluidized bed and a low temperature gradient with mosaic blocks of 70...90 nm, with a minimum concentration of packaging defects due to half and quaternary dislocations.

Keywords: hematite, iron oxide catalysts, precursor, synthesis mode, fine crystal structure

Катализаторы на основе оксида железа широко распространены и используются в многотоннажных нефтехимических и химических процессах. 90 % стирола получают с помощью промотированных железоксидных катализаторов. В условиях ограниченности источников сырьевых компонентов для производства катализаторов в силу действия экономических, экологических, энергетических факторов проблема гибкости технологий синтеза катализаторов приобретает особую актуальность. Одной из базовых задач является обеспечение промышленности относительно дешёвым и доступным сырьём необходимого качества.

Целью работы является выяснение влияния природы прекурсора и режимов термоллиза исходного соединения железа на субструктуру и свойства гематита, используемого для приготовления промотированных железоксидных катализаторов дегидрирования.

Для исследований были выбраны образцы гематита, используемые для приготовления промышленных катализаторов. В качестве прекурсоров использовали карбонат железа (II), сульфат железа (II), соль Мора. Температуру термообработки соли на воздухе выбирали на основе данных дифференциального термического анализа таким образом, чтобы она превышала температуру начала разложения соответствующей соли (ТНР). Катализаторы, приготовленные из таких образцов, имеют значительно отличающиеся показатели (табл. 1).

Удельная поверхность порошкообразного гематита, глобулярная структура, распределение частиц гематита по размеру не могут служить однозначными показателями [1], на основе которых можно спрогнозировать эксплуатационные характеристики катализатора, приготовленного на его основе.

Таблица 1. Основные характеристики каталитически активных ферритных систем на основе оксидов железа различной предыстории

Прекурсор	Температура термоллиза прекурсора, К	$S_{уд}$ (Fe_2O_3), $\frac{m^2}{г}$	Удельная скорость образования стирола $W \cdot 10^8$, $\frac{моль \cdot c^{-1} \cdot m^{-2}}$	Селективность по стиролу, мол. %
Сульфат железа (II)	910±10	11,2	67,5±0,5	91,8±0,2
Сульфат железа (II)	950±10	4,9	72,6±0,5	92,1±0,2
Карбонат железа (II)	840±10	12	37,1±0,5	89,4±0,2
Карбонат железа (II)	880±10	16	46,9±0,5	91,1±0,2
Соль Мора	970±10	4,1	56,6±0,5	90,3±0,2

При этом тонкая кристаллическая структура гематита, синтезированного в неравновесных условиях, оказывает решающее влияние на фазовый состав и связанную с ним концентрацию активных центров, физико-механические свойства катализатора и термостабильность пористой структуры [2-4].

Представления о тонкой кристаллической структуре могут быть иллюстрированы данными сканирующей микроскопии высокого разрешения. В свою очередь, данные сканирующей микроскопии можно квалифицированно интерпретировать только на основе представлений о ТКС.

Важнейшей характеристикой гематита, определяющей активность и селективность действия катализатора на его основе, является тонкая кристаллическая структура (ТКС). ТКС гематита определяет фазовый состав катализатора, степень включённости исходных компонентов в состав каталитически активной фазы. ТКС гематита формируется в процессе синтеза гематита и определяется природой прекурсора, температурным градиентом (разницей между температурой, при которой проводится термолиз и температурой начала разложения прекурсора), скоростью удаления газообразных продуктов термолиза, продолжительностью нахождения формирующегося гематита в зоне высокой температуры (табл. 2).

Таблица 2. Параметры ТКС гематита различной предыстории

№	Предыстория	Д, нм по направлению				$\sqrt{\langle \varepsilon^2 \rangle} \cdot 10^4$ по направлению				$\alpha_1 \cdot 10^4$	$\alpha_2 \cdot 10^4$	$\beta \cdot 10^4$
		012	113	300	226	012	113	300	226			
1	Сульфат (910±10) К	64	60	79	41	23,9	9,3	8,3	4,3	0	1	220
2	Сульфат (950±10) К	74	60	82	40	21,3	9,2	7,9	4,3	0	3	238
3	Карбонат (840±10) К	42	32	42	32	38,9	18,0	15,6	8,2	0	227	0
4	Карбонат (880±10) К	54	63	79	63	28,7	9,5	9,3	3,3	25	95	0
5	Соль Мора (970±10) К	85	84	100	65	20,0	5,8	3,6	2,3	0	31	42

Наибольшую активность продемонстрировал катализатор, приготовленный на основе гематита с блоками мозаики 70...90 нм, с мини-

мальной концентрацией ДУ типа α_1 и α_2 . Такой гематит был получен термолизом сульфата железа при 950 К в условиях кипящего слоя и низкого температурного градиента. Гематит из карбоната железа не подходит для синтеза катализатора: высокая концентрация низкотемпературных ДУ приводит к образованию значительной концентрации малоактивного полиферрита. Использование гематита, полученного из карбоната железа, возможно при предварительной термообработке гематита для отжига низкотемпературных ДУ или при введении специальных добавок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дворецкий Н.В.* Влияние предыстории оксида железа на фазовый состав железокалиевых оксидных систем / Н.В. Дворецкий, Л.Г. Аниканова // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2002. Т. 45, вып. 7. С. 50-52.
2. *Дворецкий Н.В.* Термостабильность текстуры железооксидных катализаторов дегидрирования / Н.В. Дворецкий, Л.Г. Аниканова // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2002. Т. 45, вып. 2. С. 147-148.
3. *Ламберов А.А.* Модернизация катализаторов и технологии синтеза изопрена на ОАО «Нижнекамскнефтехим» / А.А. Ламберов, Х.Х. Гильманов // Казань: Изд.-во Казанского (Приволжского) федерального университета, 2012. 404 с.
4. Влияние условий термолиза на процесс формирования оксидного катализатора на основе феррита калия / М.М. Лопатина, К.А. Кошелева, Е.А. Ханмурзина, В.А. Дьяконов, Н.В. Нефёдова // Успехи в химии и химической технологии. 2020. Т. 34, № 4. С. 34-39.

МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ДОБАВКИ К ДИЗЕЛЬНОМУ ТОПЛИВУ НА ОСНОВЕ ТАЛЛОВОГО МАСЛА

Д.В. Демьянов, С.А. Кораблева, Л.М. Соболева

Научный руководитель – **Л.М. Соболева**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Предложено в качестве добавки к дизельному топливу использовать метиловые эфиры таллового масла. Представлена блок-схема метода получения добавки. Для очистки эфиров жирных кислот таллового масла проводилась вакуумная дистилляция, которая позволила получить продукт с чистотой порядка 98%.

Ключевые слова: талловое масло, метиловые эфиры жирных кислот, дизельное топливо, добавка к топливу, метод получения эфиров

A METHOD FOR OBTAINING AN ADDITIVE TO DIESEL FUEL BASED ON TALL OIL

D.V. Demyanov, S.A. Korableva, L.M. Soboleva

Scientific Supervisor – **L.M. Soboleva**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

It is proposed to use methyl esters of tall oil as an additive to diesel fuel. A flowchart of the additive preparation method is presented. Vacuum distillation was carried out to purify the esters of fatty acids of tall oil, which allowed to obtain a product with a purity of about 98 %.

Keywords: tallow oil, methyl esters of fatty acids, diesel fuel, fuel additive, method of obtaining esters

Дизельное топливо (ДТ) является крупнотоннажным продуктом отечественной нефтепереработки. По данным Министерства энергетики в 2023 году переработка нефти в России достигла 275 млн т нефти. При этом производство дизельного топлива увеличилось на 4,1% по сравнению с 2022 годом и составило 88,161 млн т [1].

Товарное дизельное топливо получают компаундированием гидроочищенных прямогонных дизельных фракций, легких газойлей каталити-

ческого крекинга и коксования после гидроочистки, а также легких газойлей гидрокрекинга [2].

В настоящее время качество производимого в России дизельного топлива регламентируется следующими документами: Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту», ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009) «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия», ГОСТ 32511 2013 (590:2009) «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия», ГОСТ Р 55475-2013 «Топливо дизельное зимнее и арктическое депарафинированное. Технические условия».

В данных стандартах прослеживается ужесточение требований к показателям качества товарного дизельного топлива с целью улучшения эксплуатационных характеристик топлив и уменьшения негативного воздействия ДТ на окружающую среду за счет снижения содержания в них сернистых, азотных соединений и полициклических ароматических углеводородов.

Однако жесткие требования к ДТ приводят и к негативному влиянию на его свойства. Например, ультранизкое содержанием серы, облегчение фракционного состава и снижение вязкости ухудшают смазывающую способность топлива, что напрямую влияет на ресурс работы топливной аппаратуры.

Решение проблемы обеспечивается использованием разрешенных добавок и присадок различного функционального назначения.

Улучшить смазывающую способность дизельных топлив позволяют противоизносные присадки. По химической природе это высшие карбоновые кислоты или их производные, в том числе сложные эфиры.

Наиболее распространены зарубежные противоизносные присадки, доля которых до недавнего времени составляла 60% [3].

В качестве добавки к дизельному топливу используются метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК) по ГОСТ Р 53605-2009, содержание их в дизельном топливе регламентировано на уровне не более 7% об.

В стандарте указано, что основным сырьем для получения эфиров служат растительные масла или животные жиры, поставщиками которых являются предприятия Беларуси. Производительность установок по производству метиловых эфиров жирных кислот рапсового масла колеблется в пределах от 5 до 25 тыс. т в год. Традиционно эфиры получают переэтерификацией масла метилатом калия или метанолом с использованием щелочного катализатора. Различия в технологиях заключаются в способе выделения МЭЖК рапсового масла [4].

Поэтому актуальной задачей является разработка отечественных присадок или расширение ассортимента сырьевой базы для производства добавок к дизельному топливу экологического класса К5.

Альтернативой добавкам, полученным на основе растительных масел, в биодизельные топлива могут служить метиловые эфиры талловых продуктов. Разработкой данной тематики активно занимаются в России. Чаще в качестве сырья используется уже продукт переработки таллового масла – жирные кислоты. Определенный интерес представляет рассмотреть использование самого таллового масла для получения добавки. Производство таллового масла в РФ составляет порядка 200 тыс. т в год, а цена колеблется от 25 до 36 руб. за кг [5], что значительно дешевле цен продуктов на его основе.

В настоящей работе объектом исследования являлось масло талловое сырое марки СТП-11, ТУ 13-0281078-119-89; М.м – 291 у.е.; n_d^{20} - 1,4869; d_4^{20} - 0,961 г/см³; кислотное число 126,6 мг КОН/г; число омыления 150,0 мг КОН/г; йодное число 154,4 г I₂/100 г. Количественный состав масла, массовая доля, %: жирных кислот - 47,3; смоляных кислот - 26,6; неомыляемых (нейтральных) веществ - 18,9; кислот нерастворимых в петролейном эфире - 1,4; влаги - 5.8. Предлагается в качестве добавки к дизельному топливу использовать жирнокислотную составляющую таллового масла в виде эфиров. На рис. 1 представлена блок-схема метода получения добавки.



Рис. 1. Блок-схема метода получения добавки

Метод включает две стадии.

Первая стадия процесса – этерификация жирных кислот метиловым спиртом в присутствии катализатора *n*-толуолсульфонокислоты. В выбранных условиях степень превращения жирных кислот таллового масла достигает 97,5%.

Вторая стадия процесса – нейтрализация продуктов этерификации таллового масла. Нейтрализация проводилась в реакторе противоточного типа, выполненного в виде колонны, заполненной кольцами Рашига. Исходные реагенты подавались дозировочными насосами противотоком. Нейтрализованные МЭЖКТМ отводятся с верха реактора, а калиевые мыла смоляных кислот – с низа.

Метилловые эфиры ЖКТМ были подвергнуты вакуумной дистилляции при давлении 866,5 Па.

Физико-химический анализ фракции I показал, что она содержит не менее 96 % (мас. дол.) МЭЖКТМ, представляет собой прозрачную светло-желтую жидкость со специфическим запахом; кислотное число - 0,1 мг КОН/г, число омыления - 192,0 мг КОН/г, йодное число - 130,0 г I₂/100 г; массовая доля вещества, %: неомыляемых веществ – 1,5; метиловых эфиров жирных кислот – 98,5, из них: пальмитиновой – 4,9; пальмитолеиновой – 2,5; стеариновой – 0,8; олеиновой – 23,6; линолевой – 46,9; изолинолевой – 15,6; линоленовой – 4,2; плотность при температуре 15 °С – 895 кг/м³; коэффициент рефракции - 1,4621; кинематическая вязкость при температуре 40 °С – 4,0 мм²/с.

Метилловые эфиры жирных кислот, допустимые в качестве добавки к дизельному топливу, должны соответствовать требованиям стандарта ГОСТ Р 53605-2009 (ЕН 14214:2003). Анализируя полученные данные и данные стандарта, можно предложить в качестве добавки к дизельному топливу метилловые эфиры таллового масла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рынок дизельного топлива в России 2017-2023 гг. Цифры, тенденции, прогноз URL: <https://tk-solutions.ru/russia-rynok-dizelnogo-topliva>.
2. Капустин В.М. Технология переработки нефти. В 4-х частях. Часть вторая. Физико-химические процессы / В.М. Капустин, А.А. Гуреев. М.: Химия, 2015. 400 с.
3. Оценка влияния продукта этерификации жирных кислот талловых масел на свойства дизельного топлива / А.С. Говорин [и др.] // Изв. вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12, № 2. С. 330-338.
4. Влияние технологии получения на характеристики метиловых эфиров высших жирных кислот / З.А. Антонова [и др.] // Химия и технология топлив и масел. 2012. № 3. С. 3-6.
5. Талловое масло сырое. URL: https://msk.pulscen.ru/products/syroye_talloyoye_maslo_khvoynoye_69708760.

ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА

С.Ю. Ерохин, Е.В. Комарова

Научный руководитель – **Е.В. Комарова**, ст. преподаватель

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Рассматривается возможность вторичной переработки в производстве полиэтилена. Определена последовательность действий для анализа возможности вовлечения вторичного сырья в производство товарной продукции и перечень подходящей для этого продукции. Выявлены критерии оценки показателей качества готовой продукции для установления оптимального соотношения вовлекаемого вторичного сырья в производстве полиэтилена.

Ключевые слова: вторичное сырье, полиэтилен, рециклинг

RECYCLING IN THE PRODUCTION OF POLYETHYLENE PRODUCTS

S.Yu. Erokhin, E.V. Komarova

Scientific Supervisor – **E.V. Komarova**, Senior Lecturer

Ufa State Petroleum Technological University

The possibility of recycling in the production of polyethylene is being considered. A sequence of actions has been defined to analyze the possibility of involving secondary raw materials in the production of marketable products and a list of suitable products for this purpose. The criteria for evaluating the quality indicators of finished products to establish the optimal ratio of the secondary raw materials involved in the production of polyethylene are revealed.

Keywords: secondary raw materials, polyethylene, recycling

Зачастую современные блага цивилизации создают не только удобства для людей, но и наносят непоправимый урон природе. Только за последние 10 лет в мире было произведено больше пластиковых изделий, чем за предыдущее столетие. Одноразовая посуда, пакеты, упаковка, бутылки и различные емкости – самые распространенные виды пластикового мусора, который мы "производим" каждый день. Лишь пять процен-

тов от его объема в конечном итоге подвергается переработке и используется повторно в быту и жизни. Хотя вовлечение вторичного сырья в производство различных полимеров остается наиболее перспективным направлением решения данной проблемы, также требует определения критериев возможности его ограниченного использования в процессах, определяемых технологическими и экономическими показателями [1, 2].

На предприятии ООО «Газпром нефтехим Салават» в процессе производства изделий из полиэтилена производятся товары народного потребления (далее ТНП). Ассортимент разнообразен: с контактом с пищей, без контакта с пищей, изделия детского ассортимента. Во время пуска и вывода на режим термопластавтоматов и литьевых машин образуется большое количество некондиции. В связи с этим, предлагается перерабатывать данную фракцию, получая из нее *полиэтилен-вторичное сырье (ПВС)* и вовлекать в товары народного потребления в определенном соотношении по отношению к чистому сырью.

Для этого на установке необходимо провести фиксированный пробег (2 этапа), во время которого, определить позиции товаров, в которые будет вовлекаться ПВС (все позиции не контактируют с пищей и не относятся к изделиям детского ассортимента согласно требованиям [3]), например: ведро с крышкой 25 л для мусора, ведро 10 л для садово-огородных работ, ведро 7 л для мусора с крышкой, горшок для цветов с поддонником, таз хозяйственный для непищевых продуктов 5 л, таз хозяйственный для непищевых продуктов 5 л тип 2, таз хозяйственный для непищевых продуктов 12 л, таз хозяйственный для непищевых продуктов 15 л, корзина хозяйственная, корзина для бумаг, пылевыбывалка.

Технологически данный процесс предполагается осуществлять следующим образом: на измельчителе пластмасс передробить некондиционную продукцию до гранулированной крошки и получить ПВС, затем с использованием принятых методов анализа определить основные физико-химические свойства – предел текучести расплава и плотность, при изготовлении товаров народного потребления постепенно замещать «чистое» сырье с вовлечением ПВС в различных соотношениях, обращая внимание на качество готовой продукции. При постепенном вовлечении ПВС в производство посуды и изделий хозяйственного назначения анализировать ее согласно [3], а именно обращать внимание на следующие характеристики:

- стойкость к горячей воде;
- миграция красителя (стойкость красителя к протиранию);
- химическая стойкость;
- коробление термопластов;
- стойкость к загрязнению;

- запах водной вытяжки;
- привкус водной вытяжки;
- изменение цвета и прозрачности водной вытяжки;
- прочность крепления ручек.

В большинстве случаев производимые на предприятиях изделия фасуются в полиэтиленовые мешки, которые в последующем, выбрасываются. Предлагается также перерабатывать данный вид отхода, получая из него *полиэтилен-вторичное сырье*. Для этого необходимо переработать пленку на агломераторе, затем на дробилке, определить предел текучести расплава и плотность полученной фракции и использовать как сырье для производства пленки. Данная плёнка может быть использована для хозяйственных целей (для теплиц, парников и т.д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозова Л.А. Основные технологии производства и переработки полимеров / Л.А. Морозова, Д.А. Бычкова // Природно-ресурсный потенциал Прикаспия и сопредельных территорий: проблемы его рационального использования. Материалы IX Национальной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 134-140.
2. Егорова М.В. Проблемы эффективности организации процессов рециклинга полимеров в рамках комплексного освоения ресурсов углеводородного сырья // Вестник Казанского технологического университета. 2011. №. 5. С. 67-73.
3. ГОСТ Р 50962-96. Посуда и изделия хозяйственного назначения из пластмасс. Общие технические условия.

УДК66.011

МОДЕЛЬ ВАКУУМНОЙ КОЛОННЫ БЛОКА ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ УСТАНОВКИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ БАЗОВЫХ МАСЕЛ III ГРУППЫ

В.С. Иванов, А.В. Тарасов

Научный руководитель – **А.В. Тарасов**, д-р хим. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Предлагается изучить модель вакуумной колонны блока фракционирования установки по производству базовых масел 3 группы.

***Ключевые слова:** модель вакуумной колонны, технологическая схема, вакуумная колонна, отпарная колонна, базовые масла, МУОБР*

THE VACUUM COLUMN OF THE FRACTIONATION UNIT OF THE PLANT FOR THE PRODUCTION OF BASE OILS OF GROUP III

V.S. Ivanov, A.V. Tarasov

Scientific Supervisor – **A.V. Tarasov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

It is proposed to study the model of vacuum column of fractionation unit of base oils production unit of 3 groups

***Keywords:** vacuum column model, process flow diagram, vacuum column, evaporation column, base oils, MUOBR*

Назначение установки – каталитическая изодепарафинизация и гидрирование сырья с целью получения высококачественных базовых масел. Сырьем установки является непревращенный остаток установки гидрокрекинга, в ходе гидрокрекинга этот продукт был практически полностью очищен от сернистых и азотистых соединений исходной нефти. А частичное гидрирование ароматических и полициклических компонентов, а также изомеризация линейных компонентов масляных фракций сделали этот продукт идеальным сырьем для получения синтетических масел 3 группы. В ходе анализа получаемых продуктов было обнаружено, что

кроме собственно высококачественных масел, эта установка может давать еще один очень важный продукт, являющийся самым легкокипящим продуктом разделения реакционной смеси и обозначенным на схеме (рис. 1) как МУОБР. Расшифровывается это обозначение как маловязкая углеводородная основа для буровых растворов. Необходимо отметить, что этот продукт крайне необходим для проведения буровых работ в условиях низких температур, которые характерны для всех северных территорий России, и до недавнего времени в самой России не производился.

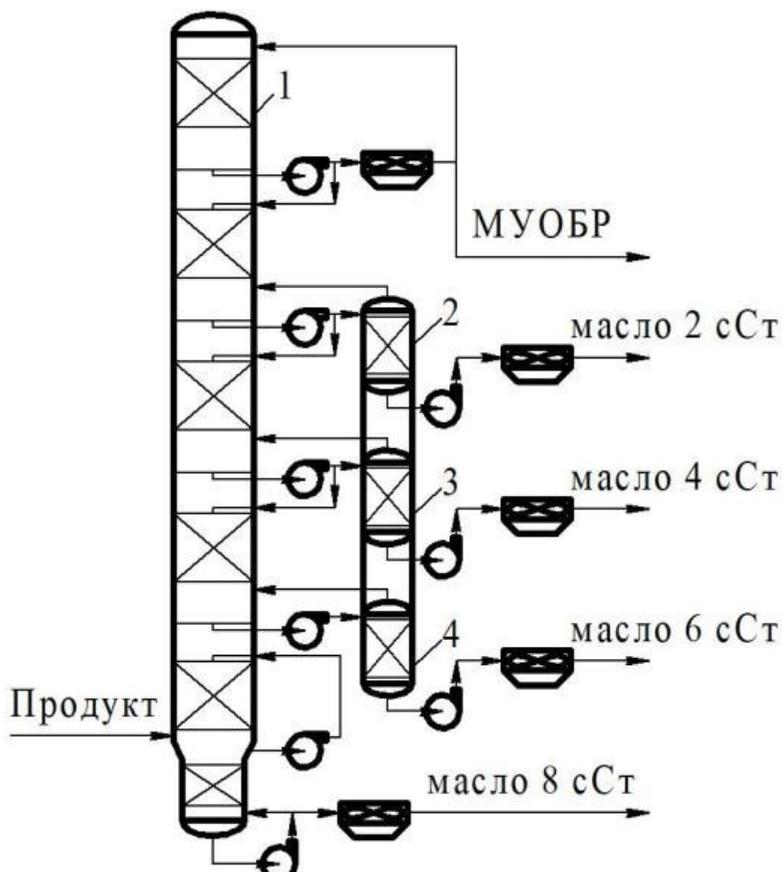


Рис. 1. Схема блока фракционирования:
1 – вакуумная колонна, 2,3,4 – отпарная колонна

Для регулирования качества и оптимизации выпуска МУОБР на предприятии необходимо было разработать модель блока фракциониро-

вания, с помощью которой можно было изучить влияние технологических параметров работы сложной ректификационной колонны на выход и качество получаемого продукта без ущерба для качества остальных продуктов процесса, так же обозначенных на рис. 1.

Технологическая схема блока фракционирования. Схема блока фракционирования приводится на рис. 1.

Основной задачей вакуумной секции является разделение продукта на маловязкую основу для буровых растворов (далее - МУОБР), легкий смазочный продукт (2 сСт), средний смазочный продукт (4 сСт), тяжелый смазочный продукт (6 сСт) и кубовый смазочный продукт (8 сСт). Для создания и поддержания вакуума в колонне используется вакуум создающая система, включающая трехступенчатый пароежекторный вакуумный насос. После воздушного холодильника одна часть потока возвращается в колонну 1 в виде верхнего орошения, а другая выводится с установки. Легкое смазочное масло разделяется на два потока: второе горячее орошение колонны 1 и легкое смазочное масло, направляемое в колонну 2 и далее, после отпарки выводится с установки. Среднее смазочное масло, разделяется на три потока: третье горячее орошение колонны 1, аварийная циркуляция и среднее смазочное масло, направляемое в колонну 3, где отпаривается и выводится с установки. Тяжелое смазочное масло разделяется на два потока. Одна часть потока жидкости используется для орошения колонны 1. Вторая часть направляемое в колонну 4 и далее после отпарки выводится с установки. Куб колонны сразу выводится с установки, и также используется для аварийной циркуляции.

Для создания модели колонны использовалась программа Petro-SIM, позволяющая рассчитывать процессы фракционирования индивидуальных соединений и нефтяных фракций в простых и сложных колоннах, находить составы и рассчитывать свойства потоков. По результатам моделирования сделан вывод о применимости модели для указанных нами целей.

Преимущества получаемой продукции. В целом базовые масла III группы – это синтетические масла, которые имеют очень высокий индекс вязкости и производятся из высококачественных базовых масел [1].

Улучшенная термоокислительная стабильность таких составов проявляется в устойчивости к высоким температурам, масла не окисляются, что предотвращает образование осадков в ДВС.

Отличная вязкостно-температурная характеристика позволяет таким маслам сохранять свою вязкость при различных температурах, что обеспечивает надежную защиту двигателя в различных условиях эксплуатации.

МУОБР применяется в условиях крайнего севера. Продукция отвечает самым высоким требованиям: не содержит ароматические углеводороды, имеет 4-й класс опасности и является биоразлагаемой.

Преимущества:

- Малая испаряемость.

Характеризует низкую пожароопасность и позволяет работать в более широком интервале температур;

- Малая вязкость.

Дает оптимальные соотношения углеводородной и водной фаз, позволяя утяжелять до высоких плотностей и обеспечивать экономное вовлечение МУОБР;

- Низкое содержание ароматических углеводородов приводит к малой токсичности, позволяя применять их в наиболее ответственных условиях эксплуатации с самыми суровыми экологическими требованиями, а также безопасно для людей;

- Низкая температура застывания позволяет готовить и применять буровые растворы в условиях холодного климата, снижая вероятность внепланового простоя[2].

Вывод. Установка по производству базовых масел III группы качества имеет большое значение для всего российского рынка смазочных материалов. Ведь благодаря блоку фракционирования продукты установки позволяют выпускать самые качественные масла, широко востребованные на рынке. Кроме того, они вносят существенный вклад в импортозамещение высококачественных базовых масел, и позволяют уйти от дорогостоящих зарубежных поставок, и дают мощный импульс для развития высокотехнологичной отечественной продукции. Также установка первая в России стала выпускать МУОБР, который на данный момент уже имеет свое СТО 00149765-017-2022. Установка позволяет активно развивать премиальный ассортимент и создавать уникальные продукты для российских условий, сохранять ценовую конкурентоспособность производимых товарных масел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев А. Базовые масла технологии VHVI. Что такое VHVI? Какие базовые масла лучше? 2023. URL: https://suprotec.ru/basic-oils-VHVI/#mctoc_1gt3q2kbgh
2. TDC DRILLFLUID.МУОБР // TDC DRILLFLUID: сайт. 2010. URL: <https://tdc-drillfluid.com/>

СИНТЕЗ ПАРА-ТРЕТ-БУТИЛ-ВТОР-БУТИЛБЕНЗОЛА АЛКИЛИРОВАНИЕМ БЕНЗОЛА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ

Е.М. Иванов, Е.И. Баёв, А.С. Фролов

Научный руководитель – **А.С. Фролов**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Исследованы закономерности алкилирования бензола трет-бутиловым и втор-бутиловым спиртами в присутствии серной кислоты. Установлена возможность получения трет-бутилбензола из ди-трет-бутилбензола с использованием хлористого алюминия. Синтезирован пара-трет-бутил-втор-бутилбензол реакцией алкилирования втор-бутилбензолом трет-бутанола. Выбраны условия позволяющие получать данное соединение с максимальным выходом.

Ключевые слова: сернокислотное алкилирование, переалкилирование, трет-бутилбензол, втор-бутилбензол, пара-трет-бутил-втор-бутилбензол

SYNTHESIS OF PARA-TERT-BUTYL-SECOND-BUTYLBENZENE BY ALKYLATION OF BENZENE AND ITS DERIVATIVES

E.M. Ivanov, E.I. Bayov, A.S. Frolov

Scientific Supervisor – **A.S. Frolov**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The regularities of benzene alkylation with tert-butyl and second-butyl alcohols in the presence of sulfuric acid have been studied. The possibility of obtaining tert-butylbenzene from di-tert-butylbenzene using aluminium chloride has been established. Para-tert-second-butylbenzene has been synthesised by alkylation of tert-butanol with tert-butylbenzene. The conditions allowing to obtain this compound with maximum yield were chosen.

Keywords: sulphuric acid alkylation, overalkylation, tert-butylbenzene, second-butylbenzene, para-tert-second-butylbenzene

Алкилирование является одним из основных методов построения углеродного скелета молекулы, в связи с чем эти процессы имеют большое значение в органическом синтезе [1]. Данные реакции имеют практическое значение для синтеза алкилированных в ядро ароматических соединений, изопарафинов, меркаптанов и сульфидов, аминов, продуктов переработки α -оксидоацетиленов. Получаемые алкилированием вещества могут использоваться в качестве полупродуктов в нефтехимическом синтезе, и находят широкое применение в различных отраслях промышленности. На основе таких соединений производятся фенолоальдегидные смолы, антиоксиданты, каучуки, краски и лаки, фармацевтические препараты. [2] Реакции алкилирования зачастую сопровождаются образованием побочных продуктов, которые наряду с целевыми также могут иметь большое практическое значение.

Так одним из таких промышленно важных продуктов алкилирования является *втор*-бутилбензол. Перспективным направлением его применения, как предполагается, может стать получение *пара-трет*-бутил-*втор*-бутилбензола. Реакцией кислотного разложения его гидропероксида можно получить *пара-трет*-бутилфенол и с метилэтилкетон, которые являются важными продуктами основного органического синтеза. Метилэтилкетон – важный растворитель и промежуточный продукт в химической промышленности. Кетон используется в производстве различных химических соединений, пластмасс, смол и синтетических материалов [3]. Следует отметить, что в России отсутствует производство этого соединения. *пара-трет*-Бутилфенол находит применение в производстве лаков, моющих дезинфицирующих средств, и особенно, эпоксидных и поликарбонатных смол, пластификаторов, каликсаранов, являющихся инновационными противораковыми средствами [4]. Всё, изложенное выше, обуславливает актуальность проведения исследований закономерностей реакций алкилирования бензола и его производных с целью получения *пара-трет*-бутил-*втор*-бутил-бензола.

пара-трет-Бутил-*втор*-бутилбензол (ПТБВББ) возможно получить по двум схемам синтеза – на основе *трет*-бутилбензола (ТББ) или на основе *втор*-бутилбензола (ВББ) (рис. 1).

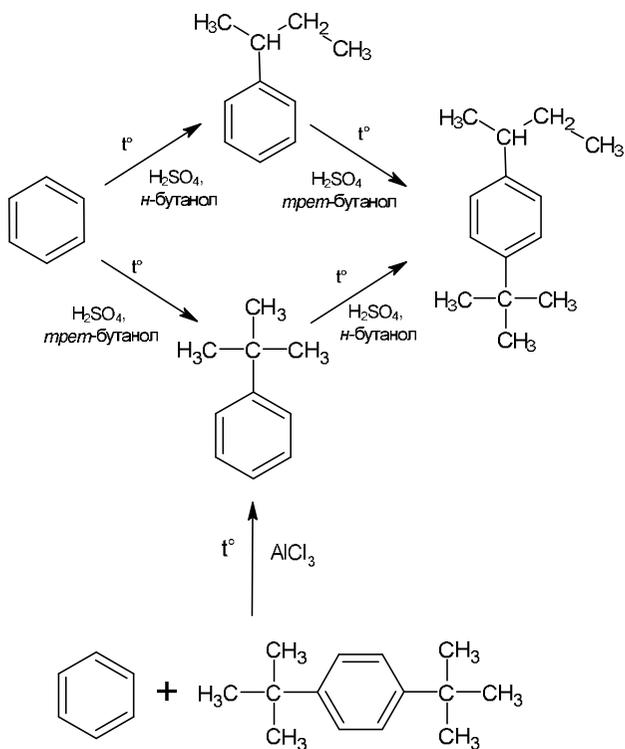


Рис. 1. Схема получения *пара-трет-бутил-втор-бутилбензола*

Для получения ПТБВББ были исследованы обе схемы синтеза. По результатам экспериментов установлено, что способ получения на основе ВББ является более предпочтительным ввиду большего выхода целевого вещества. Так, способ получения на основе *трет*-бутилбензола является малоэффективным, так как при алкилировании бензола *трет*-бутанолом протекает побочная реакция, приводящая к образованию большого количества *пара-ди-трет*-бутилбензола. Была проведена реакция переалкилирования *ди*-ТББ с бензолом в присутствии хлористого алюминия. Установлено, что превращение *ди*-ТББ в монозамещённый ТББ протекает, однако, для повышения показателей реакции необходимо провести подбор условий. В результате проведённых исследований был синтезирован *пара-трет-бутил-втор-бутилбензол* алкилированием *втор*-бутилбензола *трет*-бутанолом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Химическая технология органических веществ. / Т.П. Дьячкова [и др.] // Тамбов: Издательство ТГТУ, 2008. Ч.2. 100 с.
2. Хоэлл Э. 2-бутанон. Энциклопедия промышленной химии Ульмана. 7-е изд. NY: John Wiley & Sons, 2009.
3. Синтез гидропероксида *втор*-бутилбензола и его кислотное разложение до фенола и метилэтилкетона / Е.И. Баёв [и др.] // Семьдесят шестая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 19-20 апреля 2023 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. 1 CD-ROM. С. 84-86.
4. Гидропероксидный способ синтеза фенола и его алкильных производных совместно с кетонами алифатического и алициклического ряда / Е.А. Курганова [и др.] // Neftegaz.RU. 2023. № 5. С. 90-95.

**ОБНАРУЖЕНИЕ ОСТАТКОВ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ
КОМПОНЕНТОВ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ
ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ГОРЕНИЯ, МЕТОДОМ
ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ**

**Е.Б. Кочеткова¹, Д.А. Кочетков², М.А. Юровская²,
В.К. Леонтьев²**

Научный руководитель – **В.К. Леонтьев**, канд. техн. наук, доцент

¹ФГБУСЭУ ФПС ИПЛ по Ярославской области

²Ярославский государственный технический университет

В статье рассмотрен способ идентификации горючих жидкостей на объектах-носителях, изымаемых с места пожара с помощью газожидкостного хроматографа с пламенно-фотометрическим детектором селективным на серосодержащие вещества. Предложены комбинации реперных серосодержащих компонентов для отнесения нефтепродуктов к определенному типу.

Ключевые слова: газожидкостная хроматография, интенсификатор горения, детектор, реперные компоненты

**DETECTION OF RESIDUES OF SULFUR-CONTAINING
COMPONENTS THAT ARE PART OF GORENJE INTENSIFI-
ERS BY GAS-LIQUID CHROMATOGRAPHY**

**E. B. Kochetkova¹, D.A. Kochetkov², M.A. Yurovskaya²,
V.K. Leontiev²**

Scientific supervisor – **V.K. Leontiev**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

¹FGBU SEU FPS IPL in the Yaroslavl region

²Yaroslavl State Technical University

The article considers a method for identifying flammable liquids on carrier objects removed from the fire site using a gas-liquid chromatograph with a flame photometric detector selective for sulfur-containing substances. Combinations of reference sulfur-containing components are proposed to classify petroleum products to a certain type.

Keywords: Gas-liquid chromatography, gorenje intensifier, detector, reference components

Изучение и совершенствование способов обнаружения и идентификации интенсификатора горения (ИГ) – легковоспламеняющейся или горючей жидкости является практической задачей пожарно-технических экспертов.

Основными интенсификаторами горения, являются товарные нефтепродукты (НП) - автомобильные бензины, керосины, дизельные топлива, нефтяные растворители.

Действующая модель идентификации горючих жидкостей с помощью газожидкостной хроматографии, позволяет определить компонентный состав НП, при этом в качестве реперных компонентов предлагается использовать ароматические соединения [1]. Выбор данных компонентов в качестве реперных очевиден, так как ароматические углеводороды содержатся в достаточном объеме товарных НП, используемых в качестве средства поджога. При этом имея более высокую температуру кипения, по сравнению с легкими парафинами, они способны сохраняться на изъятых объектах-носителях даже при значительной степени выгорания образца. Также ароматические углеводороды входят в состав многих растворителей не нефтяной природы.

В состав всех указанных НП в тех или иных количествах входят серосодержащие соединения, хотя наличия указанных соединений строго регламентировано и часто не превышает значения 10 ppm [2, 3]. Органические растворители не нефтяной природы, наиболее часто используемые в качестве средства поджога (такие как Р-645, Р-647, Р-648, Р-649, Р-650 и т.п.) состоят из небольшого количества компонентов, не включающих серосодержащие. Таким образом, обнаружение серосодержащих веществ может быть использовано в качестве метода анализа для обнаружения интенсификаторов горения, таких как товарные НП и отличие их от растворителей не нефтяного ряда.

В настоящий момент нет литературных данных об использовании предлагаемого способа обнаружения нефтепродуктов в пожарно-технической практике.

Содержание сернистых компонентов в нефтепродуктах определяли методом газовой хроматографии с пламенно-фотометрическим детектором селективным на серу. Условия проведения анализа выполнили в соответствии с [4].

Условия проведения анализа следующие: хроматограф газовый «Кристалл 5000.1» с пламенно-фотометрическим детектором селективным на серу; колонка капиллярная ZB-50, внутренний диаметр 0,25 мм, длина 30 м; температура испарителя 250 °С; температура детектора 250 °С; режим программирования температуры колонки от 40 °С (изотерма 7 мин) до 240 °С со скоростью нагрева 7 гр./°С; давление газ-носителя на входе в колонку 90 кПа; расход газа-носителя 5 мл/мин, рас-

ход водорода 140 мл/мин; расход воздуха 40 мл/мин; объем вводимой пробы 0,5мл. Газ-носитель: гелий. Деление потока 1:10.

В качестве образцов применялись товарные нефтепродукты (автомобильный бензин марки АИ-95, керосин марки ТС-1, топливо дизельное Евро (летнее)) различных производителей: ПАО «Славнефть-ЯНОС», ПАО «ЛУКОЙЛ», ПАО «Татнефть».

При анализе и сравнение указанных образцов установлено, что все анализируемые НП имеют в своем составе серосодержащие соединения, причем вид хроматограмм отличен друга от друга, что является качественной характеристикой предлагаемого способа. Бензины и керосины более разнообразны по своему составу. Дизельное топливо (ДТ) имеет сходные компоненты. Отличительной чертой дизельного топлива от бензинов является наличие в их составе тяжелых фракций органических соединений серы - дибензотиофен (и его производные).

При выгорании нефтепродуктов содержание серосодержащих компонентов уменьшается, более легкие компоненты исчезают полностью. При этом в бензинах сохраняются практически до полного выгорания диметилдисульфид и бензотиофен, в керосинах дибутилсульфид и дибутилдисульфид, в дизельном топливе бензотиофен, дибензотиофен, дибутилсульфид.

В таблице 1 представлены комбинации пиков наиболее высококипящих серосодержащих соединений, найденных в значимых количествах на хроматограммах нативных и выгоревших интенсификаторов горения, позволяющие определить тип нефтепродукта.

Таблица 1. Нативные (не подвергнутые тепловому воздействию) нефтепродукты

№	Компонент	Tкип, °С	Бензины	Керосины	ДТ
1	изопропилмеркаптан	53	+		
2	тиофен	84	+	+	
3	3-метилтиофен	114	+		+
4	диметилдисульфид	118	+		
5	дибутилсульфид	181		+	
6	бензотиофен	221	+		+
7	дибутилдисульфид	229		+	+
8	дибензотиофен	332			+

Предлагаемые для идентификации серосодержащие компоненты в выгоревших в разной степени бензине, керосине и дизельном топливе приведены в табл. 2.

Таблица 2. Выгоревшие контрольные образцы бензина, керосина и дизельного топлива

№	Компонент	Бензины	Керосины	ДТ	Бензины	Керосины	ДТ
		выгорание 50 %			выгорание 99 %		
1	изопропилмеркаптан	-			-		
2	тиофен	-	-		-	-	
3	3-метилтиофен	+		+	-		-
4	диметилдисульфид	+			+		
5	дибутилсульфид		+			+	
6	бензотиофен	+		+	+		+
7	дибутилдисульфид		+	+		+	+
8	дибензотиофен			+			+

Предлагаемые для идентификации серосодержащие компоненты в товарных нефтепродуктах.

Для бензинов: тиофен, диметилдисульфид (ДМДС), дибутилдисульфид, бензотиофен.

Для керосинов: дибутилсульфид, дибутилдисульфид

Для ДТ: бензотиофен, дибутилдисульфид, дибензотиофен.

Предлагаемый способ обнаружения позволит не только установить наличие остатков нефтепродуктов в месте отбора проб, но и оценить приблизительную степень термического воздействия на исследуемый образец.

Ценной особенностью предлагаемого способа обнаружения является возможность использования данного метода анализа для обнаружения выгоревших товарных НП и отличие их от растворителей не нефтяного ряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2497102 Российская Федерация, G01N 21/64. Способ обнаружения на месте пожара остатков ароматических углеводородов, входящих в состав интенсификатора горения: № 2011131161/28: заявл. 27.07.2011: опубл. 27.10.2013 / Чешко И.Д., Клапнюк И.В., Принцева М.Ю., Ельашевич Г.К., Розова Е.Ю.; заявитель ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Институт высокомолекулярных соединений РАН.
2. ГОСТ 32511-2013. Топливо дизельное Евро. Технические условия. М.: 2014.
3. ГОСТ 32513-2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. М.: 2014.
4. ГОСТ Р 56718-2015. Дистилляты и конденсат газовый стабильный. Определение серосодержащих соединений методом газовой хроматографии. М.: 2016.

УДК 66.661

ВЫДЕЛЕНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА

Д.А. Макашева, С.К. Чуракова

Научный руководитель – **С.К. Чуракова**, д-р техн. наук, профессор

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Рассматривается ресурсосберегающая технология выделения ароматических углеводородов из жидких продуктов пиролиза.

***Ключевые слова:** пиролиз, жидкие продукты пиролиза, смола пиролиза, бензол, бентол*

ISOLATION OF AROMATIC HYDROCARBONS FROM LIQUID PYROLYSIS PRODUCTS

D.A. Makasheva, S.K. Churakova

Scientific Supervisor – **S.K. Churakova**, Doctor of Technical Sciences, Professor

Ufa State Petroleum Technological University

A resource-saving technology for the separation of aromatic hydrocarbons from liquid pyrolysis products is considered.

***Keywords:** pyrolysis, liquid pyrolysis products, pyrolysis resin, benzene, bentol*

Основополагающим процессом, обеспечивающим успешное функционирование нефтехимического комплекса является пиролиз. На сегодняшний день в отечественной промышленности наблюдается рост пиролизных мощностей по производству базовых мономеров. Такая тенденция поднимает вопрос разработки эффективных технологий по переработке образующихся побочных продуктов.

Получаемые жидкие продукты пиролиза, независимо от того, какое сырье используется, обладают схожими свойствами [1]. Смола пиролиза содержит значительное количество ароматических углеводородов, в частности бензол и толуол составляют более 50% смеси. В связи с этим, становится целесообразным выделение данных углеводородов.

Объектом исследования является смола пиролиза, получаемая на предприятии ПАО “Уфаоргсинтез”, на долю которого приходится 6,3% [2] от общего выпуска этилена в России. Был предложен способ комплексной переработки жидких продуктов пиролиза с совместным выделением товарных бензола и бензол-толуольной фракции.

Жидкие продукты пиролиза перегоняются в два этапа в колоннах К-1,2. Так на первом этапе из смеси отделяется легкая фракция С3-С5, а на втором – тяжелая фракция С7+. Далее смесь подвергается селективному гидрированию оставшихся непредельных углеводородов в реакторе Р-1. Из полученной реакционной массы выделение бензола обычной ректификацией не представляется возможным, ввиду близких температур кипения бензола и циклогексана. Последующее разделение производится на блоке экстрактивной ректификации К-3,4, где получается бензол высшего сорта [3]. Тяжелая фракция С7+ далее разделяется на тяжелые непредельные углеводороды и бензол-толуольную фракцию в колонне К-5.

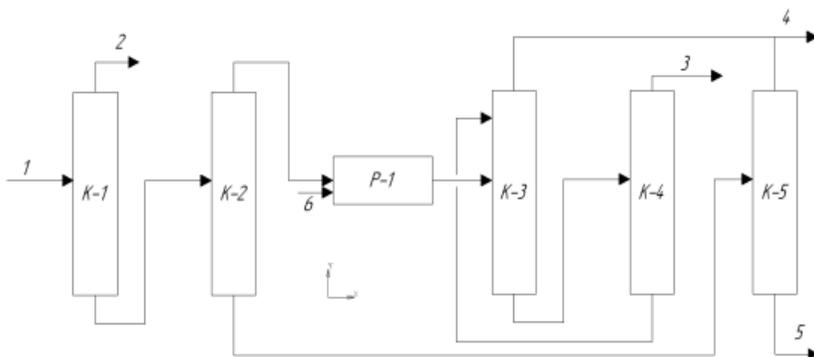


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема:

1 – смола пиролиза; 2 – фракция С3-С5; 3 – бензол; 4 – бентол;
5 – тяжелые непредельные углеводороды; 6 – водород

Математическое моделирование процесса производилось в программной среде UnsimDesign. В таблице 1 представлен материальный баланс предлагаемого варианта переработки смолы пиролиза, который позволяет извлекать 8949 тонн бензола с выходом 82,5 % и 8829 тонн в год бентола. Исследование показало, что выделение ароматических углеводородов, а именно бензола и бентола, является перспективным способом переработки жидких продуктов пиролиза.

Таблица 1. Материальный баланс процесса

Приход			Расход		
Компоненты	тыс. т/год	% мас.	Компоненты	тыс. т/год	% мас.
Смола пиролиза	21,9	99,87	Бентол	8,829	40,26
Водород	0,028	0,13	Бензол	8,949	40,81
			Легкие УВ С3-С5	1,874	8,55
			Тяжелые непредельные УВ	2,276	10,38
Итого	21,928	100	Итого	21,928	100

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капустин В.М. Химия и технология переработки нефти: учебник для учреждений среднего профессионального образования / В.М. Капустин, М.Г. Рудин. Москва: Химия. 2013. 495 с.
2. Куц А.А. Современное состояние пиролизных комплексов в России // WORLDSCIENCE: PROBLEMSANDINNOVATIONS. Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2020. С. 22-24.
3. ГОСТ Р 58415-2019. Бензол нефтехимический. Технические условия.

УДК 665.7.038.5

**РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЙ
ПРОТИВОЗАДИРНОЙ СЕРОСОДЕРЖАЩЕЙ ПРИСАДКИ
ДЛЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МАСЕЛ
(Сообщение 1 – исследование)**

М.А. Морозов, Л.О. Огурцов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев

Научный руководитель – **В.В. Соловьев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Моторные и индустриальные масла, предназначенные для современных двигателей внутреннего сгорания и станков с числовым программным управлением (ЧПУ), должны обладать комплексом эксплуатационных свойств: моющих, антиокислительных, антикоррозионных, противоизносных и др., обеспечивающих заданный срок службы двигателя или машиностроительного механизма. Для улучшения эксплуатационных свойств масел к ним добавляют специальные присадки. Так, для предотвращения заедания рабочих поверхностей трущихся тел применяются эффективные противозадирные присадки, способные вступать в химическую реакцию с металлом, образуя соединения, выполняющие функцию противосварочных покрытий. В ходе предварительных исследований по синтезу образцов противозадирных серосодержащих присадок для моторных и индустриальных масел на основе бис(алкилбензилтио)этана была выбрана оптимальная концентрация этилового спирта, который используется в процессе синтеза и были получены присадки, не уступающие по трибологическим свойствам импортным аналогам.

***Ключевые слова:** моторные, индустриальные масла, присадки, противоизносные свойства*

**DEVELOPMENT OF DOMESTIC IMPORT-SUBSTITUTING
ANTI-SEIZE SULFUR-CONTAINING ADDITIVE
FOR INDUSTRIAL OILS
(Communication 1 – research)**

M.A. Morozov, L.O. Ogurtsov, L.M. Soboleva, V.V. Solovyov

Scientific Supervisor – **V.V. Solovyov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Motor and industrial oils designed for modern internal combustion engines and numerically controlled machine tools (NCM) should have a complex of operational properties: detergent, antioxidant, anticorrosive, anti-wear, etc., ensuring a given service life of the engine or machine-building mechanism. To improve the operational properties of oils, special additives are added to them. For example, to prevent seizure of working surfaces of rubbing bodies, effective anti-seize additives are used, which are able to react chemically with metal, forming compounds that perform the function of antiwelding coatings. In the course of preliminary studies on the synthesis of samples of sulfur-containing anti-seize additives for motor and industrial oils based on bis(alkylbenzylthio)ethane, the optimal concentration of ethyl alcohol used in the synthesis process was selected and additives were obtained that are not inferior to imported analogs in terms of tribological properties.

Keywords: motor, industrial oils, additives, anti-wear properties

Импортная присадка на основе бис(алкилбензилтио)этана относится к EP присадкам (EP – extreme pressure additives) и предназначена для улучшения противозадирных свойств промышленных и трансмиссионных масел [1]. Традиционно синтез присадки осуществляют хлорметилированием псевдокумола с последующим осернением смеси хлорметилированного псевдокумола и дихлорэтана спиртовым раствором сульфида и дисульфида натрия [2]. В Российской Федерации налажено производство отечественного образца такой присадки под брендовым названием – «Присадка АБЭС» по ТУ 38101327-77. Однако в последнее время из-за ужесточения требований по ряду испытаний образцов этой присадки на содержание серы, хлора, коррозии, а также трибологических характеристик с использованием более современных испытательных четырехшариковых машин, выполняющих анализы по зарубежным стандартам DIN 51350 ASTM D 2266, наблюдаются явные отклонения свойств отечественных образцов синтезированных присадок от импортных аналогов.

Как показали предварительные исследования, возникшие трудности оказались связанными с применением этилового спирта в качестве растворителя на стадии осернения во время синтеза присадки и выделения образующегося в обязательном порядке технологического отхода (избытка) – сульфида натрия. Известно, что сульфид натрия ограниченно растворяется в спирте и вследствие этого кристаллизуется в технологических трубопроводах функционирующих промышленных установок, производящих данный вид присадки. Кроме того, в производственных условиях не удалось достичь концентрации сульфида натрия более 9%, что, как правило, приводит к неоправданно высоким расходам этилового спирта на стадии осернения.

В связи с этим в настоящей работе был осуществлен подбор наиболее подходящей концентрации этилового спирта, при которой бы наблюдалось максимальное извлечение сульфида натрия из продуктов осер-

нения. С этой целью было исследовано влияние этилового спирта с концентрацией 98, 96 и 50 % не только на степень извлечения сульфида натрия, но и на основные характеристики синтезируемой присадки, предназначенной для улучшения противозадирных свойств различных промышленных и трансмиссионных масел. В ранее проведенных научных работах [3, 4] отмечается, что для реакций взаимодействия алкилгалогенидов с сульфидами щелочных металлов в качестве растворителя, а впоследствии и выделения сульфида натрия из продуктов осернения широко используют смеси низших алифатических спиртов с водой. В качестве базового спирта в настоящей работе был использован обычный технический этиловый спирт (ГОСТ-55878-2013) с содержанием основного вещества не более 96 %. В ходе исследований концентрация его варьировалась в объемных долях путем добавления воды в базовый этиловый спирт. Влияние разбавления исходного этилового спирта на содержание серы, хлора, коррозии, а также трибологических характеристик синтезированных ранее описанным способом противозадирных присадок приведено в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Характеристика лабораторных образцов противозадирных серосодержащих присадок для промышленных масел на основе бис(алкилбензилтио)этана, полученных при различных соотношениях этиловый спирт : вода (об. ч.)

Соотношение этиловый спирт : вода, об. ч.	Содержание, % мас.		Испытание на коррозию меди 5%-ного раствора присадки в масле ТС-14,5 при 120 °С, 3 ч, баллы	Стабильность при хранении 5%-ного раствора присадки в трансформаторном масле
	Серы об-шей	Хлора		
0,96 : 0,04	21,40	0,10	2а	Стабильна
0,90 : 0,10	20,96	0,08	1в—2а	Стабильна
0,85 : 0,15	20,96	0,08	1в—2а	Стабильна
0,80 : 0,20	20,43	0,09	2а	Стабильна
0,70 : 0,30	20,19	0,09	2а	Стабильна
0,60 : 0,40	20,96	0,08	1в—2а	Стабильна
0,50 : 0,50	19,70	0,08	2в	Стабильна
Нормы по ТУ38101327-77	≥19	≤0,10	2с	Стабильна

Таблица 2. Характеристика испытаний на четырехшариковой машине лабораторных образцов противозадирных серосодержащих присадок для индустриальных масел на основе бис(алкилбензилтио)этана, полученных при различных соотношениях этиловый спирт : вода (об. ч.)

Соотношение этиловый спирт : вода, об. ч.	Смазывающие свойства 3%-ного раствора присадки в масле ТС-14,5 (одно из более применяемых на практике)						
	по ГОСТ 9490-75 Определение трибологических характеристик на четырехшариковой машине по ГОСТ 9490-75 DIN 51350 ASTM D 2266				по ГОСТ 9490-60 список изменений: №1 от 1979-02-01 (пер. 1978-10-23) Определение трибологических характеристик на четырехшариковой машине		
	I_3	P_c , кгс	P_k , кгс	$d_{из}$, мм	ОПИ	P_c ступени	P_k ступени
0,96 : 0,04	54,3	355	100	0,46	56,3	36	25
0,90 : 0,10	53,7	315	106	0,47	57,8	35	25
0,85 : 0,15	53,0	346	104	0,46	61,1	37	24
0,80 : 0,20	52,6	355	96	0,47	56,8	36	24
0,70 : 0,30	52,3	355	101	0,46	56,7	36	25
0,60 : 0,40	51,7	315	103	0,47	57,1	35	25
0,50 : 0,50	51,0	378	97	0,46	60,2	37	24
Нормы по ТУ3810132 7-77	≥ 47	≥ 355	≥ 94	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется

Анализ полученных образцов присадок показал, что по основным эксплуатационным показателям все они соответствуют нормам технических условий ТУ 38101327-77 и не уступают по трибологическим свойствам импортным образцам. Причем основные физико-химические и технологические показатели синтезированных присадок практически не зависят от уменьшения концентрации этилового спирта. Поэтому для опытно-промышленной реализации предлагаемой технологии вместо концентрированного этилового спирта было рекомендовано использовать концентрацию его с водой в пределах 50% об.ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манг Т. Смазки материалы. Производство, применение, свойства: справочник / Т. Манг, У. Дрезель. СПб.: ЦОП «Профессия», 2010. 944 с.

2. *Прилежаева Е.Н.* Химия сульфоксидов и сульфонов. Получение и свойства органических соединений серы. М.: Химия, 1998. 560 с.
3. *Рубцова С.А.* ·Получение и свойства органических соединений. М.: Химия, 1988. 560 с.
4. Патент RU № 2 106 396 Российская Федерация, МПК C10M167/00 C10M167/00 C10M137/10 C10M155/02 C10M159/04 C10M125/06 C10M145/08 C10M133/42 C10M145/22 C10N40/04. Смазочная композиция для узлов трения: заявка 28.12.1995; опубл. 03.10.1998 / Мельников В.Г., Платонова Р.Г., Котин Е.Б., Башкатова С.Т., Рогов А.Я., Васильев О.А., Агафонова М.И., Денисенко Е.В.

УДК 665.7.038.5

**РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЙ
ПРОТИВОЗАДИРНОЙ СЕРОСОДЕРЖАЩЕЙ ПРИСАДКИ
ДЛЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МАСЕЛ
(Сообщение 2 – опытная проверка исследований)**

**М.А. Морозов, Л.О. Огурцов, Л.М. Соболева,
В.В. Соловьев**

Научный руководитель – **В.В. Соловьев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Моторные и индустриальные масла, предназначенные для современных двигателей внутреннего сгорания и станков с числовым программным управлением (ЧПУ), должны обладать комплексом эксплуатационных свойств, обеспечивающих заданный срок службы двигателя или машиностроительного механизма. Для улучшения эксплуатационных свойств масел к ним добавляют специальные присадки. Так, для предотвращения заедания рабочих поверхностей трущихся тел применяются эффективные противозадирные присадки, способные вступать в химическую реакцию с металлом, образуя соединения, выполняющие функцию противосварочных покрытий. В ходе предварительных исследований по синтезу образцов противозадирных серосодержащих присадок для моторных и индустриальных масел на основе бис(алкилбензилтио)этана были получены присадки, не уступающие по трибологическим свойствам импортным аналогам.

Ключевые слова: моторные, индустриальные масла, присадки, противозадирные свойства

**DEVELOPMENT OF DOMESTIC IMPORT-SUBSTITUTING
ANTI-SEIZE SULFUR-CONTAINING ADDITIVE FOR INDUSTRIAL OILS
(Communication 2 – pilot testing of research)**

M.A. Morozov, L.O. Ogurtsov, L.M. Soboleva, V.V. Solovyov

Scientific Supervisor – **V.V. Solovyov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Motor and industrial oils designed for modern internal combustion engines and

numerically controlled machine tools (NCM) must have a set of operational properties that ensure a given service life of the engine or machine-building mechanism. To improve the operational properties of oils, special additives are added to them. Thus, to prevent seizure of working surfaces of rubbing bodies, effective anti-seize additives are used, which are able to react chemically with metal, forming compounds that perform the function of antiwelding coatings. In the course of preliminary studies on the synthesis of samples of sulfur-containing anti-seize additives for motor and industrial oils based on bis(alkylbenzylthio)ethane, additives were obtained that are not inferior to imported analogs in terms of tribological properties.

Keywords: motor; industrial oils, additives, anti-wear properties

Для опытно-промышленной реализации синтеза образцов противозадирных серосодержащих присадок для моторных и промышленных масел на основе бис(алкилбензилтио)этана была выбрана оптимальная концентрации этилового спирта 50% об.ч. Однако первые результаты, полученные при опытном синтезе присадок, показали, что для промышленного производства следует провести уточнение концентрации этилового спирта для получения серосодержащих присадок. Как в лабораторных исследованиях, в опытно-промышленном варианте использовался высококонцентрированный этиловый спирт (98% об.ч.), который был специально получен в ходе процесса разгонки технического этилового спирта (96% об.ч.) в присутствии металлического натрия [1, 2].

В качестве второго образца этилового спирта применялся технический этанол по ГОСТ-55878-2013 с содержанием основного вещества 96% об.ч. В качестве третьего и последующих образцов этилового спирта участвующего в синтезе получения серосодержащих присадок использовалась смесь этанол–вода, которая содержала низкий объемный процент спирта от 5 до 40% об.ч. По результатам предварительных исследований была рекомендована проверка всех видов спирто-водной смеси при получении присадки в условиях опытно-промышленного производства. Первые же опыты показали возможность использования спирто-водной смеси даже более низкой концентрации, чем 50% об.ч., без ухудшения качества получаемой присадки.

Сравнительная характеристика свойств синтезированной присадки основе бис(алкилбензилтио)этана с использованием этилового спирта с концентрацией не менее 96–98% и спирто-водной смеси, содержащей от 5 до 40% спирта, приведена в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Характеристика образцов противозадирных серосодержащих присадок для промышленных масел на основе бис(алкилбензилтио)этана, полученных в условиях опытного производства

Соотношение этиловый спирт : вода, об. ч.	Содержание, % мас.		Испытание на коррозию меди 5%-ного раствора присадки в масле ТС-14,5 при 120°С, 3 ч, баллы	Стабильность при хранении 5%-ного раствора присадки в трансформаторном масле	Цвет по шкале ЦНТ, баллы
	серы общей	хлора			
Растворитель — спирт этиловый 98%					
0,98 : 0,02	22,05	0,05	2а	Стабильна	> 8
0,90 : 0,10	21,93	0,06	2а	Стабильна	> 8
0,80 : 0,20	21,83	0,07	2а	Стабильна	> 8
0,70 : 0,30	21,74	0,07	2в	Стабильна	> 8
0,60 : 0,40	21,63	0,07	2а	Стабильна	> 8
0,50 : 0,50	21,55	0,08	2а	Стабильна	> 8
0,40 : 0,60	21,51	0,07	2а	Стабильна	> 8
0,30 : 0,70	21,44	0,08	2в	Стабильна	> 8
Нормы по ТУ	22,64	0,09	2а	Стабильна	> 8
Растворитель — спирт этиловый 96%					
0,96 : 0,04	22,26	0,05	1в	Стабильна	> 8
0,90 : 0,10	22,01	0,08	1в	Стабильна	> 8
0,80 : 0,20	21,93	0,07	2а	Стабильна	> 8
0,70 : 0,30	21,82	0,08	2в	Стабильна	> 8
0,60 : 0,40	21,73	0,07	2а	Стабильна	> 8
0,50 : 0,50	21,65	0,06	2а	Стабильна	> 8
0,40 : 0,60	21,53	0,07	2а	Стабильна	> 8
0,30 : 0,70	21,44	0,07	2в	Стабильна	> 8
Нормы по ТУ	23,12	0,09	2а	Стабильна	> 8
Растворитель — смесь этилового спирта и воды (от 5 до 40% об.ч. этилового спирта)					
0,40 : 0,60	21,53	0,07	1в	Стабильна	6
0,30 : 0,70	21,44	0,07	1в	Стабильна	5
0,25 : 0,75	21,45	0,08	2в	Стабильна	6
0,20 : 0,80	21,44	0,08	2в	Стабильна	7
0,15 : 0,85	21,43	0,07	2в	Стабильна	6
0,10 : 0,90	21,05	0,06	2в	Стабильна	5
0,05 : 0,95	20,88	0,05	1в	Стабильна	5
Нормы по ТУ	23,12	0,09	2а	Стабильна	8

Таблица 2. Характеристика испытаний на четырехшариковой машине лабораторных образцов противозадирных серосодержащих присадок для индустриальных масел на основе бис(алкилбензилтио)этана, полученных в условиях опытного производства

Соотношение этиловый спирт : вода, об. ч.	Смазывающие свойства 3%-ного раствора присадки в масле ТС-14,5						
	Определение трибологических характеристик на четырехшариковой машине по ГОСТ 9490-75 DIN 51350 ASTM D 2266				Определение трибологических характеристик на четырехшариковой машине Список изменений: №1 от 1979-02-01 (рег. 1978-10-23)		
	I_3	P_c , кгс	P_k , кгс	d_w , мм	ОПИ	P_c ступени	P_k ступени
Растворитель — спирт этиловый 98%							
0,98 : 0,02	55,3	355	107	0,65	59,9	37	25
0,90 : 0,10	54,7	355	104	0,67	57,8	36	24
0,80 : 0,20	53,8	345	101	0,54	56,7	37	25
0,70 : 0,30	53,6	345	98	0,59	55,9	36	24
0,60 : 0,40	53,3	355	97	0,54	55,5	36	25
0,50 : 0,50	52,8	345	95	0,65	55,2	37	25
Растворитель — спирт этиловый 96%							
0,96 : 0,04	54,6	355	108	0,68	60,4	36	25
0,90 : 0,10	51,7	345	107	0,67	59,6	36	24
0,80 : 0,20	50,4	335	102	0,64	59,4	36	24
0,70 : 0,30	50,1	345	97	0,61	58,7	36	24
0,60 : 0,40	53,3	355	96	0,58	58,3	36	24
0,50 : 0,50	55,3	335	95	0,57	57,5	37	25
Растворитель — смесь этилового спирта и воды (от 5 до 20% об.ч. этилового спирта)							
0,40 : 0,60	54,6	355	106	0,69	59,1	36	25
0,30 : 0,70	53,7	335	103	0,67	58,9	36	24
0,25 : 0,75	52,4	345	98	0,64	58,7	36	24
0,20 : 0,80	52,1	335	96	0,61	58,5	36	24
0,15 : 0,85	51,3	355	96	0,58	58,4	36	24
0,10 : 0,90	51,6	345	95	0,52	57,1	36	25
0,05 : 0,95	51,7	355	94	0,51	56,8	36	24
Нормы по ТУ	≥47	≥355	≥94	–	–	–	–

Как видно из данных таблиц 1 и 2, опытные партии присадок по основным эксплуатационным свойствам (коррозионность, стабильность при хранении, противозадирные свойства) практически равноценны. При снижении концентрации этилового спирта и повышении содержания воды на стадии отмывки продуктов синтеза после процесса осернения зна-

чительно улучшился цвет присадки. Улучшился такой показатель присадки как прозрачность в объеме, который является одним из необходимых требований для ряда масел, в которые вводятся соответствующие присадки.

Применение спирто-водной смеси позволило усовершенствовать процесс и повысить производительность: прекратились забивки трубопроводов кристаллами сульфида натрия, поэтому отпала необходимость в пропарке и промывке линий.

С увеличением растворимости сульфида натрия в спирто-водной смеси не только уменьшились его потери с нерастворимыми солями, отделяемыми при фильтрации, но и значительно повысилась концентрация в растворе. В результате расход этилового спирта удалось сократить в несколько раз. Кроме того, снизились потери раствора присадки с отработанным спиртовым слоем, а также увеличился выход готовой присадки.

Таким образом, полученные данные позволяют рекомендовать смесь этилового спирта и воды с низкой концентрацией (от 5 до 20% об.ч.) для использования в производстве противозадирных серосодержащих присадок на основе бис(алкилбензилтио)этана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецова Е.Д. Исследование процессов получения и абсолютизации этилового спирта для фармацевтической промышленности и промышленности органического синтеза / Е.Д. Кузнецова, Н.В. Гасанова, В.В.Соловьев // Всероссийская конференция с международным участием «Проблемы и инновационные решения в химической технологии» (ПИРХТ-2019). 7-9 октября 2019 г., г. Воронеж. Воронеж, 2019. С. 93-94.
2. Разработка ресурсосберегающей технологии получения этилового спирта и биодизельного топлива на его основе / М.А. Червочкин, М.А. Гончарова, М.С. Белинов, В.В. Соловьев // Семьдесят пятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 20-21 апреля 2022 г. Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. Ярославль: Издательство ЯГТУ, 2022. 1 CD-ROM. С. 287-290.

**ВЫБОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРИСАДОК, СОДЕРЖАЩИХ
СОЕДИНЕНИЯ СЕРЫ, ФОСФОРА И АЗОТА, ДЛЯ МАСЕЛ,
ВЫПУСКАЕМЫХ НА ПАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС»,
ВЗАМЕН ИМПОРТНЫХ ОБРАЗЦОВ**

М.А. Морозов, Л.О. Огурцов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев

Научный руководитель – **В.В. Соловьев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В нефтехимической промышленности Российской Федерации в вопросе импортозамещения большое внимание уделяется выпуску нефтепродуктов высокого качества, а именно производству смазочных масел с высокоэффективными присадками. В последнее время обращается особое внимание на то, что практически все моторные и машиностроительные масла, предназначенные для современных двигателей внутреннего сгорания и металлорежущих станков, должны обладать комплексом эксплуатационных свойств: моющих, антиокислительных, антикоррозионных, противоизносных и др., обеспечивающих заданный срок службы двигателя и станкового оборудования. Так для улучшения эксплуатационных свойств к базовым маслам, выпускаемым на предприятии ПАО «Славнефть ЯНОС» в обязательном порядке добавляют специальные присадки, большинство из которых являются импортными. В этой связи целью настоящей работы являлся синтез ряда присадок, которые могут заменить импортные образцы.

***Ключевые слова:** моторные, индустриальные масла, присадки, проектирование, импортозамещение*

**SELECTION OF DOMESTIC ADDITIVES CONTAINING
SULFUR, PHOSPHORUS AND NITROGEN COMPOUNDS
FOR OILS PRODUCED AT PJSC «SLAVNEFT-YANOS»
INSTEAD OF IMPORTED SAMPLES**

M.A. Morozov, L.O. Ogurtsov, L.M. Soboleva, V.V. Solovyov

Scientific Supervisor – **V.V. Solovyov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

In the petrochemical industry of the Russian Federation in the issue of import substitution, much attention is paid to the production of high quality petroleum products, namely the production of lubricating oils with highly effective additives. Recently, special attention has been paid to the fact that practically all motor and machine-building oils designed for modern internal combustion engines and metal-cutting machine tools should have a complex of operational properties: detergent, antioxidant, anticorrosive, anti-wear, etc., ensuring a given service life of the engine and machine tool equipment. So, to improve the operational properties, special additives, most of which are imported, are added to base oils produced at Slavneft YaNOS PJSC on a mandatory basis. In this regard, the purpose of this work was to synthesize a number of additives that can replace imported samples.

Keywords: motor, industrial oils, additives, engineering, import substitution

Одними из основных видов присадок, широко применяемых самостоятельно или в сочетании с другими видами присадок, являются органические продукты, содержащие соединения серы, фосфора и азота. Многочисленные исследования показали, что наиболее перспективны присадки, содержащие в своем составе несколько активных элементов, свойства которых дополняют друг друга. В последние годы за рубежом в качестве полифункциональных присадок широкое распространение получили S-, P- и N-содержащие присадки. Они обладают высокими антиокислительными, антикоррозионными, противозносными и противозадирными свойствами используются в моторных и трансмиссионных маслах.

Предварительные исследования различного типа S-, P- и N-содержащих соединений и их композиций с производными кислот фосфора показало, что наиболее массово применяются импортные образцы противозадирных присадок на основе производных тиоугольных кислот, например диалкилтритиокарбоната (ДАТТК). Дальнейшие исследования показали, что базовые масла производства ПАО «Славнефть ЯНОС» не могут удовлетворять современным требованиям, предъявляемым маслам по противозадирным, противозносным и антиокислительным свойствам. Исследование ряда эфиров кислот фосфора и их азотсодержащих производных (например, аминной соли диалкилдитиофосфорной кислоты – АСДАДФК) позволило установить, что эти соединения как однокомпонентные присадки являются хорошими противозносными агентами, но неэффективны как противозадирные и антиокислительные присадки. По этой причине на предприятии ПАО «Славнефть ЯНОС» в базовые масла для достижения всех необходимых свойств вводят присадки, содержащих соединения серы, фосфора или азота.

В настоящей работе были синтезированы наиболее эффективные смеси серосодержащих присадок, которые дают возможность получать продукты высокого качества и широкого номенклатурного потенциала.

Испытания композиций синтезированных серосодержащих присадок с производными кислот фосфора на маловязком индустриальном масле И-20А выпускаемом по ТР ТС 030/2012 и ГОСТ-20799 выявили наиболее благоприятные их сочетания (табл.1 и 2) в бинарных и тройных смесях, так как известно, что действие каждого из активных элементов, входящих в состав присадки, строго разграничено.

Таблица 1. Результаты испытаний масла И-20А с присадками на противозадирные свойства

№ образца	Состав компонентов	Содержание присадок в масле, % мас.	Противозадирные свойства		
			ОПИ	Рк ступени	Рс
1	ДАТТК + (C ₃ H ₇ O) ₃ P(=O)	5+2	76,8	27/28	36
2	ДАТТК + (C ₃ H ₇) ₂ P(=S)SC ₃ H ₇	5+2	66,9	24/25	35
3	ДАТТК + (C ₅ H ₁₁ O) ₂ P(=O)SC ₅ H ₁₁	5+2	63,6	25	36
4	ДАТТК + (C ₂ H ₅ O) ₂ P(=O)SC ₅ H ₁₁	5+2	69,7	25	37
5	ДАТТК + (C ₂ H ₅ O) ₂ P(=O)OC ₅ H ₁₁	5+2	63,6	26/27	36
6	ДАТТК + (C ₅ H ₁₁ O) ₂₂ P(=S)SC ₅ H ₁₁	5+2	65,5	25/26	36
7	ДАТТК + (C ₃ H ₇ O) ₂ P(=O)C ₃ H ₇	5+2	124,2	33	39
8	ДАТТК + (C ₄ H ₉ O) ₂ РОН	5+2	80,7	28/29	35
9	ДАТТК + (C ₄ H ₉ O) ₃ P	5+2	95,7	25	36
10	ДАТТК + (C ₄ H ₉ S) ₃ P	5+2	80,0	29	39
11	ДАТТК + (C ₂ H ₅ O) ₂ P(=O)SC ₅ H ₁₁ + АСДАДФК	5+2+0,5	73,7	26/27	36
12	ДАТТК + (C ₅ H ₁₁ O) ₂ P(=S)SC ₅ H ₁₁ + АСДАДФК	5+2+0,5	67,5	26	35
13	ДАТТК + (C ₃ H ₇) ₂ P(=S)SC ₃ H ₇ + АСДАДФК	5+2+0,5	64,7	25	36
14	ДАТТК + (C ₃ H ₇ O) ₂ P(=O)C ₃ H ₇ + АСДАДФК	5+2+0,5	75,5	29	35
15	ДАТТК + (C ₃ H ₇ O) ₃ P(=O) + АС-ДАДФК	5+2+0,5	70,3	28	36
16	ДАТТК + (C ₄ H ₉ O) ₂ РОН +АСДАДФК	5+2+0,5	102,3	30/31	38

**Таблица 2. Результаты испытаний масла И-20А
с присадками на трибологические свойства**

№ образца	Состав компонентов	Диаметр пятна износа шаров, мм за 4 ч при 20 °С	$\Delta ВУ_{100}$ после окисления в ДК-2 (50 ч при 160 °С с металлическим катализатором), %	Коррозия стали при влажной атмосфере, г/м ²
1	ДАТТК + (C ₃ H ₇ O) ₃ P(=O)	0,47	34,4	1,36
2	ДАТТК + (C ₃ H ₇) ₂ P(=S)SC ₃ H ₇	0,65	102,7	2,47
3	ДАТТК + (C ₅ H ₁₁ O) ₂ P(=O)SC ₅ H ₁₁	0,34	57,8	0,11
4	ДАТТК + (C ₂ H ₅ O) ₂ P(=O)SC ₅ H ₁₁	0,54	51,2	0,39
5	ДАТТК + (C ₂ H ₅ O) ₂ P(=O)OC ₅ H ₁₁	0,62	43,8	0,14
6	ДАТТК + (C ₅ H ₁₁ O) ₂ P(=S)SC ₅ H ₁₁	0,35	41,2	5,64
7	ДАТТК + (C ₃ H ₇ O) ₂ P(=O)C ₃ H ₇	0,81	66,8	35,0
8	ДАТТК + (C ₄ H ₉ O) ₂ РОН	0,76	32,5	5,67
9	ДАТТК + (C ₄ H ₉ O) ₃ P	0,43	45,6	14,23
10	ДАТТК + (C ₄ H ₉ S) ₃ P	0,47	48,1	12,78
11	ДАТТК + (C ₂ H ₅ O) ₂ P(=O)SC ₅ H ₁₁ + + АСДАДТФК	0,31	54,7	0,13
12	ДАТТК + (C ₅ H ₁₁ O) ₂ P(=S)SC ₅ H ₁₁ + + АСДАДТФК	0,30	41,4	0,19
13	ДАТТК + (C ₃ H ₇) ₂ P(=S)SC ₃ H ₇ + + АСДАДТФК	0,74	111,9	2,34
14	ДАТТК + (C ₃ H ₇ O) ₂ P(=O)C ₃ H ₇ + + АСДАДТФК	0,32	21,5	3,67
15	ДАТТК + (C ₃ H ₇ O) ₃ P(=O) + + АСДАДТФК	0,74	51,3	23,45
16	ДАТТК + (C ₄ H ₉ O) ₂ РОН + +АСДАДТФК	0,71	34,3	42,31

При проведении исследований на количественной стороне противоизносного эффекта присадок (см. табл. 1 и 2), оцениваемого только по повышению нагрузок заедания (незатухающего изнашивания) или по

снижению интегрального износа шестерен за время работы при различных нагрузках, естественно, отразились особенности методики стендовых испытаний зубчатых пар, обильно смазываемых маслом с вероятными высокими противоизносными свойствами, при частоте вращения, достаточной для реализации гидродинамической несущей способности масляного слоя. Возможно, что при испытаниях, менее нагруженных передач, смазываемых маловязким маслом с разнообразными присадками при меньшей температуре, можно было бы получить больший противоизносный эффект по отношению к базовому маслу И-20А. Подобный результат (небольшое снижение, а иногда и интенсификация изнашивания) получался при введении в базовое масло таких комплексов химически активных присадок без которых (без присадок) зубчатые передачи вообще бы не могли работать, а введение предлагаемых в настоящей работе отдельных присадок обеспечивало резкое повышение износостойкости шестерен.

Так в исследуемых бинарных смесях наиболее благоприятным оказался триалкилфосфат, так как он несколько повышал противозадирные и противоизносные свойства масла, улучшал его термоокислительную стабильность и не вызывал коррозии металлов. Оптимальные свойства масла с тройной смесью присадок были получены при использовании диалкилтиолфосфата (см. таблицы 1 и 2, обр. 11). Установлено, что аминная соль диалкилдитиофосфорной кислоты (АСДАДТФК) действует на эфиры кислот фосфора избирательно: в присутствии одних она повышает эффективность композиций (обр. 11, 12, 16), в присутствии других подавляет противозадирные, противоизносные и антиокислительные свойства (обр. 14, 11). Таким образом, было установлено, что при выборе присадок необходимо учитывать синергизм и антагонизм компонентов. Так, например, сочетание ДАТТК с эфиром фосфоновой кислоты сообщает маслу очень высокие противозадирные свойства, но не снижает износ поверхности при умеренных нагрузках и вызывает коррозию стали (обр. 7).

Важным эксплуатационным требованием является термоокислительная стабильность масла с присадками. Испытания по методу, аналогичному 2504Т США (температура масла 163 °С, прокачка через пару шестерен в течение 50 ч, повышение вязкости ΔVU_{50} не более 100%), показали, что окисляемость существенно зависит от базового масла. По этой причине в дальнейших исследованиях этой серии экспериментов необходимо использовать квалифицированные высокоиндексные масла, характеризующиеся большим содержанием нефтяных углеводородов с длинными парафиновыми цепями в сочетании с моно- и бициклическими ароматическими углеводородами с боковыми цепями.

СИНТЕЗ АЛКИЛСАЛИЦИЛАТНЫХ ПРИСАДОК ДЛЯ МАСЕЛ НА ОСНОВЕ ФЕНОЛА И α -ОЛЕФИНОВ

М.А. Морозов, Л.О. Огурцов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев

Научный руководитель – **В.В. Соловьев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Перед отечественной нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленностью после введения экономических санкций поставлена важнейшая задача, обеспечить производство смазочных масел с высокоэффективными многофункциональными присадками, поскольку прогресс моторо- и машиностроения на современном этапе во многом обусловлен дальнейшим повышением антиокислительных, противоизносных, моющих и др. свойств смазочных материалов. В связи с этим развитие исследований в области синтеза и свойств присадок к маслам приобретает важное практическое значение. В настоящее время синтетические алкилфенолы стали одними из важнейших полупродуктов в нефтехимии и промышленном органическом синтезе.

Ключевые слова: моторные масла, многофункциональные присадки, алкилфенолы, синтез, катализаторы

SYNTHESIS OF ALKYL SALICYLATE ADDITIVES FOR OILS BASED ON PHENOL AND α -OLEPHINES

M.A. Morozov, L.O. Ogurtsov, L.M. Soboleva, V.V. Solovyov

Scientific Supervisor – **V.V. Solovyov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

After the introduction of economic sanctions, the domestic oil refining and petrochemical industry faces the most important task to ensure the production of lubricating oils with highly effective multifunctional additives, since the progress of motor and machine building at the present stage is largely conditioned by further improvement of antioxidant, anti-wear, detergent and other properties of lubricants. In this connection development of researches in the field of synthesis and properties of additives to oils acquires important practical importance. Currently, synthetic alkylphenols have become one of the most important intermediates in petrochemistry and industrial organic synthesis.

Keywords: motor oils, multifunctional additives, alkylphenols, synthesis, catalysts

Алкилфенолы широко применяются для получения разнообразных присадок к моторным смазочным маслам и топливам, водорастворимых смачивателей, эмульгаторов и моющих веществ, антиоксидантов и модификаторов полимерных материалов, а также пестицидов, экстрагентов, душистых и многих др. веществ. Интерес к алкилфенолам, как многоцелевым полупродуктам, обусловлен большим диапазоном варьирования их свойств и реакционной способности, что, в свою очередь, определяется сочетанием в структуре алкилфенолов разнородных элементов: алифатической или циклоалифатической цепочки, ароматического кольца и гидроксильной группы с подвижным протоном. Очевидно, что, изменяя величину и конфигурацию алкильной цепочки, число и местоположение алкильных групп, ароматических колец и гидроксильных групп, можно регулировать свойства алкилфенолов, а также их способность к взаимодействию с различными реагентами как по гидроксилу, так и по ароматическому ядру. Поэтому основная задача состоит в разработке условий синтеза алкилфенолов заданного строения.

Исходным сырьем для синтеза алкилсалицилатных присадок служат алкилфенолы, полученные на основе фенола и фракции α -олефинов, преимущественно с 14–18 атомами углерода, которые выкипают в пределах 240–320 °С. Обычно, такие алкилфенолы предусмотрено получать периодическим или непрерывным способами. При синтезе алкилфенолов периодическим методом, который удобен для предприятий небольшой единичной мощности, как правило, используют бензолсульфокислоту (БСК) или *n*-толуолсульфокислоту (*n*-ТСК) в качестве катализатора процесса. Обычно в присутствии 4,5–4,7% мас. долей этих катализаторов, взятых на всю реакционную массу, при температурах от 125 до 135 °С, мольном соотношении олефины : фенол, равном 1,1:1,0, и продолжительности реакции до 8–10 ч степень превращения может достигать от 50 до 90% [1]. При использовании сульфокатионитов в качестве катализаторов (наша статья и др.) процесс обычно проводят в непрерывном режиме с выходом алкилфенолов не ниже 70–90% [2,3].

В связи с частичным дефицитом алкилсалицилатных присадок на основе алкилфенолов в Российской Федерации из-за введения экономических санкций в настоящем сообщении приведены результаты исследования процесса алкилирования фенола α -олефинами C_{14} – C_{18} в (присутствии бензол- или *n*-толуолсульфокислоты (*n*-ТСК) непрерывным способом, который можно осуществить не только на крупных, но и, что особенно важно, на малых предприятиях органического синтеза.

В качестве реактора использовалась кварцевая трубка диаметром 20 мм и высотой 600 мм без насадки и перемешивающих устройств, снабженная электрообогревом и термопарами (обычный реактор для лабораторного дегидрирования). Промышленные образцы олефинов с пределами кипения от 235 до 325 °С, средней молярной массой – 210 и йод-

ным числом – 63,4 г J₂/100 г, а также фенол и катализатор дозировочным насосом плунжерного типа подавали в нижнюю часть реактора методом вытеснения. Продукты реакции охлаждали и выводили через штуцер, расположенный в верхней части аппарата (реактора). Соотношение компонентов и температура были аналогичны принятым для периодического процесса, а время пребывания реагентов в зоне реакции была сокращена с 8 до 1–4 ч. В табл. 1 приведены сравнительные данные процесса алкилирования фенола α -олефинами C₁₄–C₁₈ в присутствии бензол- (БСК) и *n*-толуолсульфоокислоты (*n*-ТСК) непрерывным и периодическим способом.

Результаты исследований показали (см. табл. 1), что степень превращения фенола резко возрастает в течение первых 2 ч после смешения компонентов, далее она увеличивается незначительно. Средняя скорость превращения фенола, характеризующая производительность реакционно-го оборудования, при алкилировании непрерывным способом во всех опытах намного выше, чем при периодическом алкилировании.

Таблица 1. Сравнительные результаты процессов алкилирования фенола α -олефинами C₁₄–C₁₈ в присутствии бензол- (БСК) и *n*-толуолсульфоокислоты (ТСК) непрерывным и периодическим способом

№ опыта	Способ алкилирования	Тип катализатора	Объемная скорость подачи реагентов, ч ⁻¹	Время пребывания реагентов в зоне реакции, ч
1	Периодический	БСК	—	8
2	Непрерывный	БСК	1,00	1
3	»	БСК	0,50	2
4	»	БСК	0,30	3
5	»	БСК	0,25	4
6	Периодический	<i>n</i> -ТСК	—	8
7	Непрерывный	<i>n</i> -ТСК	1,00	1
8	»	<i>n</i> -ТСК	0,50	2
9	»	<i>n</i> -ТСК	0,30	3
10	»	<i>n</i> -ТСК	0,25	4

Окончание таблицы 1

№ опыта	Содержание непрореагировавшего фенола в алкилате, % мас.*	Степень превращения фенола, % мас.	Средняя скорость превращения фенола, г/см ³ ·ч
1	8,7	71,0	23,4
2	13,6	49,1	113,9
3	11,1	59,0	69,0
4	10,9	60,5	46,3
5	10,6	61,8	35,6
6	8,3	70,2	23,0
7	17,2	37,6	86,5
8	13,7	50,5	58,0
9	12,8	52,6	41,2
10	11,5	57,4	33,6

* Содержание фенола определяли по ГОСТ 1057–2014.

После проведения процесса, сульфокислоты выделяли из алкилата путем его обработки водным раствором аммиака с последующим фильтрованием полученных солей. При изучении условий отделения нейтрализованных аммиаком сульфокислот от алкилата на фильтрах или после центрифугирования было установлено, что лучше отделяется аммонийная соль *p*-толуолсульфокислоты: на высокоскоростной центрифуге по стандартной методике (фактор разделения составил –1700) содержание соли бензолсульфокислоты в фугате составило от 0,030 до 0,055% мас., а соли *n*-толуолсульфокислоты намного меньше, от 0,003 до 0,008% мас. Таким образом было установлено, что, хотя в присутствии *n*-толуолсульфокислоты достигается меньшая степень превращения фенола, однако существенно упрощается процесс отделения катализатора от продуктов алкилирования.

Результаты сравнения физико-химических свойств алкилфенолов, выделенных перегонкой из алкилатов, полученных периодическим и непрерывным способами, показали (табл. 2, 3), что у последних продуктов синтеза молекулярная масса меньше, чем у периодического базового метода, но выше содержание ОН-групп.

Таким образом, можно предположить, при использовании для синтеза присадок алкилсалицилатного типа для минеральных нефтяных масел алкилфенолы, полученные непрерывным способом, можно увеличить выход этих присадок, поскольку в их образовании, вероятно, принимают участие только монозамещенные фенолы.

Таблица 2. Выход алкилфенолов, полученных на основе α -олефинов C₁₄–C₁₈

№ опыта	Способ алкилирования	Тип катализатора	Получено при вакуумной разгонке алкилата, % мас.		
			непрореагировавшие фенол и олефины	синтезированные алкилфенолы	кубовый остаток и потери
1	Периодический	БСК	25,6	68,2	6,2
2	Непрерывный	БСК	39,2	54,0	6,8
6	Периодический	<i>n</i> -ТСК	46,7	46,9	6,4
7	Непрерывный	<i>n</i> -ТСК	59,4	33,5	7,1

Таблица 3. Характеристика алкилфенолов, полученных на основе α -олефинов C_{14} – C_{18}

№ опыта	Физико-химические показатели алкилфенолов				
	ρ_4^{20}	n_D^{20}	Вязкость при 100 °С, сСт	Молярная масса	Содержание ОН-групп
1	0,90	1,4917	6,1	347	3,9
2	0,89	1,4925	5,1	307	4,6
6	0,90	1,4940	5,9	312	4,5
7	0,89	1,4945	6,1	308	4,9

Для промышленного осуществления процесса алкилирования фенола α -олефинами C_{14} – C_{18} непрерывным способом можно рекомендовать следующие условия синтеза:

Мольное соотношение олефины : фенол 1,1 : 1,0

Концентрация катализатора в реакционной смеси, % 4,5–4,7

Температура реакции, °С 135

Время пребывания реагентов в зоне реакции, ч 2–3

Таким образом, в ходе исследований была подтверждена версия, что при алкилировании фенола α -олефинами C_{14} – C_{18} в присутствии твердых катализаторов непрерывным способом можно значительно сократить продолжительность процесса алкилирования. Применение бензол- или п-толуолсульфокислоты в качестве катализаторов процесса способствует повышению производительности оборудования и увеличению выхода наиболее ценных монозамещенных фенолов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов О.С. Синтез моноалкилфенолов на катализаторе Амберлист / О.С. Павлов, С.А. Карсаков // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2008. Т. 51, № 4. С. 23-26.
2. Исследование поведения сульфокатионитных катализаторов в синтезе моноалкилфенолов / Е.И. Филимонова, Б.Н. Бычков, Л.М. Соболева, О.С. Павлов, С.А. Карсаков, В.В. Соловьев // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2008. Т. 51, № 5. С. 52-53.
3. Изучение реакции алкилирования фенола тримерами пропилена на катализаторе Амберлист 36 Dry / О.Н. Кораблева, Б.Н. Бычков, Е.И. Филимонова, О.С. Павлов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2010. Т. 53, №11. С.19-21.

АДСОРБЦИЯ СТИРОЛА ИЗ СИСТЕМЫ «СТИРОЛ-ВОДА» ЦЕОЛИТАМИ NaX

Д.А. Набиулина, Е.В. Комарова

Научный руководитель – **Е.В. Комарова**, ст. преподаватель

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Рассматривается адсорбционная очистка стирола на цеолитах NaX. Приведена зависимость остаточной концентрации стирола в пробе от объема пропущенного фильтрата и сделан вывод об эффективности данного адсорбента.

Ключевые слова: адсорбция, очистка сточных вод, стирол, цеолит NaX

ADSORPTION OF STYRENE FROM THE STYRENE-WATER SYSTEM WITH NaX ZEOLITES

D.A. Nabiulina, E.V. Komarova

Scientific Supervisor – **E.V. Komarova**, Senior Lecturer

Ufa State Petroleum Technological University

The adsorption purification of styrene on NaX zeolites is considered. The dependence of the residual styrene concentration in the sample on the volume of the passed filtrate is shown and a conclusion is made about the effectiveness of this adsorbent.

Keywords: adsorption, wastewater treatment, styrene, zeolite NaX

Во многих технологических процессах образуются значительные количества технологических конденсатов, содержащих остаточные концентрации ограниченно растворимых органических веществ, которые невозможно отделить, используя методы отстаивания. Технико-экономическое обоснование различных технологий очистки сточных вод от органических веществ показало, что адсорбционные методы наиболее перспективны для технической рекуперации воды [1, 2].

Преимущества адсорбционной очистки проявляются наиболее полно при низких концентрациях веществ в воде или в других растворителях, поэтому данный способ часто используется для очистки от мини-

мальных количеств органических загрязнителей, а также в качестве конечной стадии при комплексной очистке [3].

В процессе дегидрирования этилбензола используются значительные количества водяного пара. При конденсации продуктов реакции водный конденсат содержит стирол в пределах его растворимости. Используемый в настоящее время метод ректификации с водяным паром для удаления стирола, осложняется способностью стирола к термоинициированной полимеризации. Метод адсорбции в данном случае позволяет предотвратить полимеризацию, т.к. может осуществляться при сравнительно невысоких температурах.

Для определения возможности очистки от стирола методом адсорбции было выполнено исследование на наиболее используемых в промышленности цеолитах типа NaX. Для этого использовалась лабораторная установка, состоящая из сосуда Мариотта, напорного стояка, адсорбера со слоем адсорбента и приемника фильтрата. Остаточная концентрация стирола после адсорбции определялась методом хроматографического анализа с предварительной экстракцией пробы четыреххлористым углеродом [4].

На рис. 1 показана зависимость остаточной концентрации стирола в пробе от объема пропущенного фильтрата.

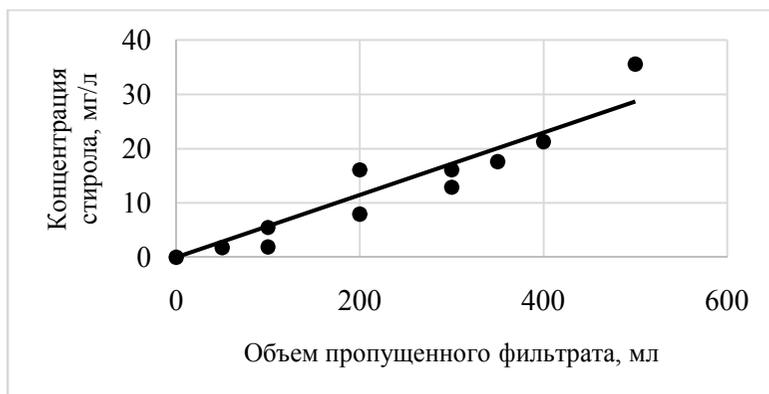


Рис. 1. Результат эксперимента

В результате исследования цеолит показал невысокую активность по отношению к стиrolу. Начальная концентрация стирола в опыте составила 39,39 мг/л, масса адсорбента 0,6 г. Как видно по рис. 1, проскок стирола в фильтрате наблюдается уже при незначительных объемах пропущенного сырья, полное насыщение адсорбента наступает при пропущенном объеме более 500 мл. Таким образом, поглощение стирола на цеолитах NaX происходит, но активность по отношению к стиrolу доста-

точно низкая. Вероятно, это связано с большими размерами адсорбируемых молекул стирола по сравнению с диаметрами пор выбранного адсорбента и присутствие водного окружения, ослабляющие адсорбционное взаимодействие поверхности со стиролом. Можно сделать вывод о том, что использование цеолитов для адсорбции стирола из водных сред возможно, но требуется подбор наиболее эффективного типа адсорбента для решения поставленной задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адсорбция органических веществ из воды / А.М. Когановский, Н.А. Лименко, Т.М. Левченко, И.Г. Рода. Л.: Химия, 1990. 256 с.
2. Зеленые адсорбенты для очистки сточных вод от органических соединений, ВВВ / Г.О. Торосян, А.А. Симонян, М.З. Петросян, В.А. Давтян, Н.С. Торосян // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2018. № 6. С. 16–21.
3. *Исаков А.А.* Сорбция фенола из водных растворов и его дальнейшее превращение: дис. канд. техн. наук по спец. 24.00.23. Геоэкология / А.А. Исаков. 2008. 101 с.
4. Анализ водных растворов стирола методом газо-жидкостной хроматографии / Е.В. Комарова, Н.А. Егорова, Б.С. Жирнов, М.А. Тагиров // Нефтепереработка и нефтехимия. 2018. № 10. С. 22.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОКИСЛЕНИЯ *втор*-БУТИЛБЕНЗОЛА ДО ГИДРОПЕРОКСИДА

Д.М. Немиров, В.С. Кабанова, Е.А. Курганова

Научные руководители – **В.С. Кабанова**, аспирант;
Е.А. Курганова, д-р хим. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Исследованы закономерности процессов окисления втор-бутилбензола до третичного гидропероксида.

Ключевые слова: фенол, метилэтилкетон, втор-бутилбензол, жидкофазное окисление, гидропероксид, *N*-гидроксифтальимид

RESEARCH OF REGULARITIES OF OXIDATION OF *second*-BUTYLBENZENE TO HYDROPEROXIDE

D.M. Nemirov, V.S. Kabanova, E.A. Kurganova

Scientific Supervisors – **V.S. Kabanova**, Graduate;
E.A. Kurganova, Doctor of Chemical Sciences, Professor

Yaroslavl State Technical University

The regularities of the oxidation processes of second-butylbenzene to tertiary hydroperoxide are investigated.

Keywords: phenol, methylethylketone, second-butylbenzene, liquid-phase oxidation, hydroperoxide, *N*-hydroxyphthalimide

Фенол является ценным продуктом органического синтеза и широко используется во всех областях химической промышленности. Его применяют при производстве фенолформальдегидных смол, ядохимикатов для сельского хозяйства, поверхностно-активных веществ, пластификаторов, стабилизаторов для нефтепродуктов [0]. Также благодаря бактерицидной активности в отношении вегетативных форм микроорганизмов данное соединение нашло применение в качестве дезинфектанта предметов домашнего и больничного обихода, инструментов и консерванта лекарственных средств и сывороток. Кроме того, фенол обладает анальгези-

рующими свойствами, что делает его незаменимым компонентом при производстве многих лекарственных препаратов, включая аспирин [0].

Одним из способов получения фенола является жидкофазное каталитическое окисление *втор*-бутилбензола (ВББ) до его гидропероксида, подвергающегося в дальнейшем кислотному разложению до фенола и метилэтилкетона [0]. Образованный наряду с фенолом метилэтилкетон (МЭК) также играет важную роль в химической промышленности. Данное соединение обладает высокой растворимостью по отношению к широкому спектру веществ: различных красок (в том числе типографских), эпоксидных смол, ПВХ и т.д. Также он находит широкое применение в производстве искусственной кожи и клеев. А в нефтехимической промышленности его используют для депарафинизации масел [0].

В связи с этим актуальной задачей становится разработка технологически эффективного способа получения фенола и МЭК. Данный процесс включает в себя три стадии: алкилирование бензола бутанолом-1, окисление получившегося *втор*-бутилбензола до гидропероксида (ГП) и кислотное разложение ГП ВББ. Данный процесс представлен на схеме 1.

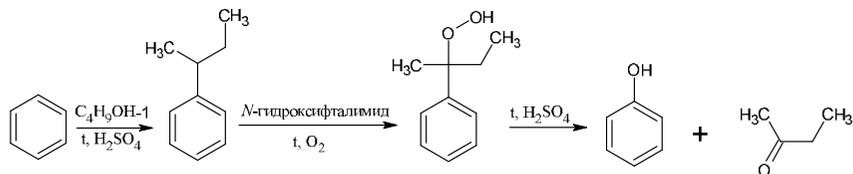


Схема 1

Алкилирование бензола бутанолом-1 проводили при температуре 70 °С, мольном соотношении бензол:бутанол-1:серная кислота 3:1:3. Продолжительность реакции составила 4 часа. Структуру полученного *втор*-бутилбензола подтвердили методом ИК-спектроскопии. На основе экспериментальных данных был осуществлен расчет материального баланса рассматриваемого процесса. Установлено, что выход целевого продукта составил 79%.

Ключевой стадией разрабатываемого процесса гидропероксидного способа совместного получения фенола и метилэтилкетона является жидкофазное аэробное окисление *втор*-бутилбензола до соответствующего третичного гидропероксида. Нами была проведена серия экспериментов по окислению *втор*-бутилбензола до его гидропероксида. Окисление углеводорода проводили в интервале температур от 120 до 150 °С при содержании катализатора 2% и продолжительности реакции 10-60 мин, определяя при этом содержание гидропероксида. Полученные экспериментальные данные представлены на рис. 1.

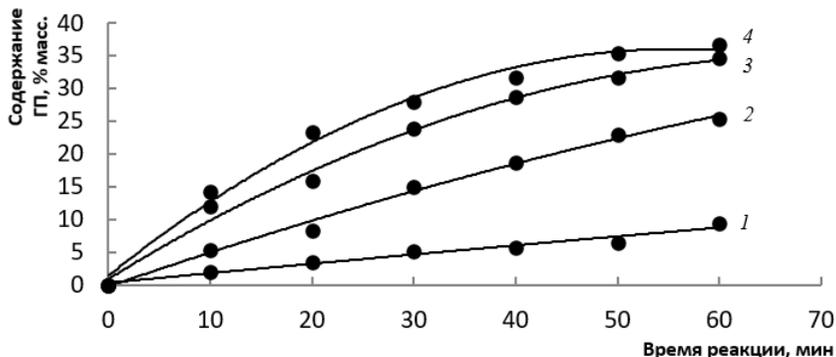


Рис. 1. Влияние температуры на процесс окисления втор-бутилбензола в присутствии *N*-гидроксифталимида:
1 – 120 °C, 2 – 130 °C, 3 – 140 °C, 4 – 150 °C

В ходе работы было изучено влияние температуры на процесс окисления втор-бутилбензола в присутствии *N*-гидроксифталимида. Полученные закономерности свидетельствуют о том, что с повышением температуры и времени реакции содержание ГП в оксидате увеличивается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харлампович Г.Д. Фенолы / Г.Д. Харлампович, Ю.В. Чуркин. М.: Химия, 1974. 376 с.
2. Пат. № 2232747 РФ. Способ синтеза нитроксиметилфениловых эфиров аспирина и его производных: заявл. 18.01.2000; опубл. 20.07.2004.
3. Кабанова В.С. Гидропероксидный способ совместного получения фенола и метилэтилкетона / В.С. Кабанова, Е.А. Курганова, А.С. Фролов // Семьдесят пятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 20-21 апреля 2022 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. 1 CD-ROM. С. 69-70.
4. Разработка новой технологии каталитического синтеза метилэтилкетона окислением *n*-бутиленов / Е.Г. Жижина, В.Ф. Одяков, А.Л. Балашов, К.И. Матвеев // Катализ в промышленности. 2005. № 5. С. 28-35.

УДК 661

ПОЛУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ТВЁРДЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

С.А. Николаева, Ю.Ю. Смирнова, А.М. Герасимов

Научный руководитель – **А.М. Герасимов**, канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

Рассматривается изобретение водоугольного топлива, относящееся к топливной энергетике, а именно к способам получения топлива на основе тонкодисперсного угля и воды, которое может быть использовано для сжигания в котлах, печах и других установках объектов теплоэнергетики.

Ключевые слова: водоугольное топливо, энергетические ресурсы, экологическая безопасность

PRODUCTION OF STABLE LIQUID FUELS BASED ON SOLID HYDROCARBONS

S.A. Nikolaeva, Y.Y. Smirnova, A.M. Gerasimov

Scientific Supervisor – **A.M. Gerasimov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II

The invention of water-coal fuel relating to fuel energy, namely to methods of obtaining fuel based on finely dispersed coal and water; which can be used for combustion in boilers, furnaces and other installations of thermal energy facilities, is considered.

Keywords: water-coal fuel, energy resources, environmental safety

Прогресс в глобальной науке и технологиях, увеличение численности населения и повышение уровня благосостояния привели к значительному росту потребления энергии, что имеет обратную сторону в виде истощения ресурсов углеводородного сырья. Поэтому начало XXI века рассматривается зарубежными специалистами как период перехода в развитии глобальной энергетической системы. В результате становятся важными задачи энергосбережения и обеспечения экологической безопасности в функционировании энергетических систем [1].

На тепловых электростанциях в настоящее время повысилось использование природного газа в общем потреблении энергетических ресурсов. К снижению развития технологий, направленных на использование и потребления угля, торфа, биомасс и других ресурсов привело широкое применение газа в отечественной энергетике. Это привело к нарушению ранее установившегося топливно-энергетического баланса. Использование угля в качестве топлива ограничивают из-за политики ценообразования для его транспортировки и экологической безопасности [2].

В отечественной и зарубежной энергетике в настоящее время растет заинтересованность в использовании альтернативных топлив.

Так, при сжигании угля, который характеризуется высокой зольностью и низкой теплотворной способностью, выделяются следующие проблемы:

- 1) высокие транспортные расходы при транспортировке угля из шахт, где они добываются;
- 2) загрязнение воздуха пылью, которая образуется при дроблении мелкодисперсного угольного порошка;
- 3) взрывоопасность угольной пыли;
- 4) образование NO_x , которые выделяются при достижении температуры в печи около 1200 К;
- 5) из-за растущей численности населения и быстрого развития городов, в настоящее время жилые районы расположены рядом с тепловыми электростанциями. Это приводит к увеличению числа людей, которые подвергаются воздействию вредных газов. В результате, наблюдается значительное увеличение числа зарегистрированных случаев респираторных заболеваний [3].

При обогащении на современных углеобогажительных фабриках образуются тонкодисперсные отходы, представленные в виде фильтр-кека. Однако качество фильтр-кека на этих фабриках не является стабильным со временем. В данный момент продукт не может быть использован в качестве топлива в существующих энергетических агрегатах из-за значительного изменения зольности и влажности. Поэтому его отфильтрованные остатки сбрасываются в породный отвал. В угольных регионах экологическая обстановка становится ещё хуже, а добытый уголь безвозвратно теряется в огромных количествах. Кроме того, при сжигании угля образуется большое количество золы, которая улавливается и складывается в золоотвалы, практически не получая дальнейшего использования. Поэтому использование альтернативного вида топлива такого, как суспензионное водоугольное топливо, является одним из наиболее эффективных методов снижения негативного воздействия отходов углепереработки на окружающую среду [4].

Водоугольное топливо – это высококонцентрированная коллоидная система, состоящая из высокодисперсных фракций угля размером 45-250 микрон, воды с добавками-пластификаторами. В состав входит 60-70 % угля, 30-40% воды и 1% добавки-пластификатора для стабилизации полученной системы «жидкость-твердая фаза». ВУТ имеет температуру воспламенения примерно от 450 до 650 °С, температуру горения от 950 до 1050 °С, и топливо может быть выгорено на 99,5% своей полной степени. Заметно улучшенные характеристики сгорания топлива приводят к значительному сокращению образования NO_x (в 1,5-2,0 раза), CO_x (в 2-3 раза) и $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ – бензапирена (в 5 раз), что делает использование этой технологии значительно более благоприятным для окружающей среды. Практическое внедрение высокотемпературного устройства горения (ВУТ) продемонстрировало значительные плюсы. Среди экологических бонусов отмечается безопасный цикл производства, транспортировки, хранения и использования, а также снижение вредных выбросов в 1,5-3,0 раза. Это также позволяет использовать техническую и технологическую воду, а также различные наполнители, что делает эту технологию еще более привлекательной с точки зрения экологии и устойчивости [5].

Некоторые технологические преимущества: переход на сжигание ВУТ в теплогенерирующих установках, не требующие крупных изменений в конструкции оборудования, а также обеспечение простой механизации и автоматизации процессов приемки, подачи и сжигания топлива. А в плане экономических выгод, можно отметить, что стоимость готового к использованию ВУТ в котлах и топках значительно ниже, чем стоимость мазута, именно в 2-4 раза при пересчете на 1 тонну условного топлива.

Несмотря на обилие преимуществ водоугольной суспензии в качестве топлива, процесс ее производства сталкивается с рядом сложностей. Один из них — улучшение процесса измельчения угольного агломерата для более экономичного производства, так как процесс измельчения требует значительного энергопотребления. Присутствие жидкой фазы также усложняет этот процесс, поскольку химический состав жидкой фазы нестабилен и требует постоянной корректировки состава суспензии, а также умелого использования пластификаторов и стабилизаторов. Хотя процессы получения суспензионного водоугольного топлива хорошо изучены, производство на основе промышленных сточных вод требует более детального анализа, учитывая нестабильность их химического состава, что влечет за собой необходимость постоянной корректировки состава суспензии.

Следовательно, целью данной работы является проведение анализа современных достижений в области производства водоугольного топлива, а также оценка исследований, направленных на определение реологиче-

ских характеристик. Это позволит выявить основные научные проблемы и предложить способы их решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бекмуратова Б.Т.* Применение водоугольного топлива в теплоэнергетике // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6, №12. С. 261-267. URL: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/61/27>.
2. *Хондошко Ю.В.* Проблемы внедрения водоугольного топлива // Актуальные вопросы энергетики в АПК: Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Благовещенск, 19 февраля 2019 г. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2019. С. 15-17. URL: <http://irbis.dalga.ru/DigitalLibrary/NI/477.pdf>
3. Experimental studies on coal-water slurry fuel prepared from pretreated low-grade coal / V. Khanpit, S.P. Tajane, Sachin A. Mandavgane // International Journal of Coal Preparation and Utilization. 2022. Vol. 42, no. 3. P. 831-845. URL: <https://doi.org/10.1080/19392699.2019.1666830>
4. Разработка технологии комплексного использования побочных продуктов обогащения угля / В.И. Мурко, В.И. Карпенко, Т.П.Белогурова, И.А. Миханюшина // Ugol' – Russian Coal Journal. 2017. №4. С. 54-59. URL: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2017-4-54-59>
5. *Dmitrienko M.A.* Coal-water slurries containing petrochemicals to solve problems of air pollution by coal thermal power stations and boiler plants: An introductory review / M.A. Dmitrienko, P.A. Strizhak // Sci. Total Environ. 2018. P. 1117-1129. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.189>

СИНТЕЗ ЦИКЛОКАРБОНАТА ЭПИХЛОРГИДРИНА

Т.Т. Нургазизова, П.С. Пелевин, А.Е. Постнова, Г.В. Рыбина

Научные руководители – **А.Е. Постнова**, канд. хим. наук, доцент,
Г.В. Рыбина, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Изучено взаимодействие эпихлоргидрина (ЭХГ) с углекислым газом в присутствии диметилформамида (ДМФА). Показано, что использование каталитической системы на основе хлорида кобальта и тетраэтиламмония бромида (ТЭАБ) позволяет достичь практически полной конверсии ЭХГ с селективностью по циклическокарбонату эпихлоргидрина (ЦК ЭХГ) на уровне 99,0%.

Ключевые слова: эпихлоргидрин, углекислый газ, циклокарбонат эпихлоргидрина, хлорид кобальта, тетраэтиламмоний бромид, реакция карбоксилирования

SYNTHESIS OF EPICHLOROHYDRIN CYCLOCARBONATE

T.T. Nurgazizova, P.S. Pelevin, A.E. Postnova, G.V. Rybina

Scientific Supervisors – **A.E. Postnova**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor;
G.V. Rybina, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The interaction of epichlorohydrin (ECH) with carbon dioxide in the presence of dimethylformamide (DMFA) has been studied. It is shown that the use of a catalytic system based on cobalt chloride and tetraethylammonium bromide (TEAB) allows to achieve almost complete conversion of ECH with selectivity for epichlorohydrin cyclic carbonate (ECEC) at 99.0%.

Keywords: epichlorohydrin, carbon dioxide, chloromethyl ethylene carbonate, cobalt chloride, tetraethylammonium bromide, carboxylation reaction

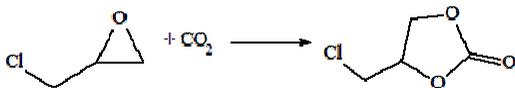
Карбоксилирование – это перспективный метод в области тонкого органического синтеза, который позволяет получать циклические органические карбонаты. Основной реакцией в этом процессе является карбоксилирование окисей олефинов. Пятичленные циклокарбонаты широко применяются, например, в качестве пластификаторов, отверждающих агентов и растворителей [1].

Для создания полифункциональных циклокарбонатов, которые будут служить активными разбавителями и модификаторами эпоксидных смол с повышенной стойкостью к истиранию, гидролизу и термоокислению, применяют эпихлоргидрин или глицидол. Применение полифункциональных олигомеров при синтезе циклокарбонатов обеспечивает разнообразие свойств и структур получаемых полимеров [2].

Карбоксилирование эпихлоргидрина представляет собой перспективный способ получения полифункциональных циклических карбонатов, которые затем могут быть модифицированы. Циклические карбонаты, полученные с использованием этого метода, могут заменить изоцианаты, уступающие по стабильности и безопасности, которые производятся из фосгена, в производстве неизоцианатных полиуретанов [3].

Для получения ЦК ЭХГ используется доступное сырьё – диоксид углерода, что позволяет решить экологические проблемы и снизить содержание углекислого газа в атмосфере.

Реакция протекает в мягких условиях: температура 100 °С, давление CO_2 от 0,5 до 2,0 МПа, начальная концентрация ЭХГ от 2,19 до 2,46 моль/дм³, концентрация катализатора $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,0254 моль/дм³ при мольном соотношении хлорида кобальта к ТЭАБ 1 : 1 в среде апротонных растворителей:



Для успешного синтеза циклокарбонатов на основе эпоксидов необходимо аккуратно подобрать каталитическую систему избегая возможных побочных реакций, таких как галогенирование, гидрохлорирование, гидратация, полимеризация, изомеризация и так далее. Мы применили ранее хорошо известную каталитическую систему, основанную на четвертичной аммониевой соли и хлориде кобальта [4].

Растворитель в химических реакциях играет важную роль. От него зависят не только скорость и направление реакции, но и технологические требования, такие как обеспечение однородности системы, лёгкость отделения от продуктов реакции, способность к регенерации катализатора и самого растворителя. Поэтому в своей работе мы использовали апротонные полярные растворители, которые хорошо себя зарекомендовали в реакциях карбоксилирования [5].

Температура синтеза оказывает влияние на кинетику процесса. Однако при слишком высоких температурах могут возникнуть побочные реакции, что может привести к образованию нежелательных продуктов. Поэтому оптимальная температура реакции должна выбираться исходя из конкретных условий проведения процесса и требуемых характеристик производимого продукта.

Подбор давления углекислого газа также важен для проведения процесса. Например, его повышение может увеличить скорость реакции и улучшить выход продукта. Однако чрезмерно высокое давление CO_2 может привести к необходимости увеличения затрат на оборудование и потребление энергии.

В условиях, описанных выше, была проведена серия опытов, в результате которой наиболее благоприятными условиями проведения реакции карбоксилирования оказались:

- концентрация катализатора $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ от 0,025 до 0,040 моль/дм³, при соотношении хлорида кобальта к ТЭАБ 1 : 1;
- среда: ДМФА, N-метилпирролидон или диметилацетамид;
- температура 100-120 °С (дальнейшее повышение температуры не рекомендуется из-за возможного разложения ТЭАБ);
- давление углекислого газа: 0,5-2,0 МПа.

В этих условиях реакция протекает не более 4 часов с конверсией эпоксида от 98 до 99% и селективностью по циклокарбонату на уровне 99,0%.

Также был предложен способ выделения целевого продукта из реакционной смеси путём вакуумной разгонки. Из-за высокой температуры кипения циклокарбоната, процесс проводился при давлении 28-30 мм рт. ст. и температуре 160-180 °С. В результате была получена фракция с содержанием циклокарбоната 97,08%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. North M. Inter- and intramolecular phosphonium salt catalysis in cyclic carbonate synthesis catalysed by a bimetallic aluminium (salen) complex / M. North, P. Villuendas, C. Young // *Tetrahedron letters*. 2012. Vol. 53, iss. 22. P. 2736-2740.
2. Платэ Н.А. Основы химии и технологии мономеров: учеб. пособие / Н.А. Платэ, Е.В. Сливинский. М.: Наука: МАИК – Наука. Интерпериодика. 2002. 696 с.
3. Шаповалов Л.Д. Неизоцианатные полиуретаны. Синтез и применение / Л.Д. Шаповалов, О.Л. Фиговский, Б.Б. Кудрявцев // *Вопросы химии и химической технологии*. 2004. № 1. С. 232-236.
4. Каталитические системы на основе галогенида металла и четвертичной аммониевой соли в реакции карбоксилирования 1,2-эпоксициклопентана / Г.Ю. Тараненко, Г.В. Рыбина, С.С. Среднев, А.Е. Мешечкина, А.В. Тарасов // *Нефтехимия*. М: Российская академия наук. 2019. Вып. 1. С. 76 - 82.
5. Карбоксилирование фенилглицидилового эфира в присутствии тетраэтиламмоний бромид и хлорида кобальта / Э.С. Прянишникова, М.А. Лебедева, А.В. Решихина, Г.В. Рыбина // Семьдесят третья всерос. науч.- техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с междунар. участием. 20 апреля 2020 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 2 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2020. 1 CD-ROM. С. 174-176.

УДК 66.097:544.478

КАТАЛИЗАТОРЫ ПРОЦЕССА ДОЖИГА АБГАЗОВ ПРОИЗВОДСТВА ФЕНОЛА И АЦЕТОНА

Р.М. Палатова, Т.Р. Просочкина, К.Е. Юртукаев

Научный руководитель – **Р.М. Палатова**

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Описывается способ оптимизации каталитического процесса дожигания абгазов на производстве фенола и ацетона заменой катализаторов без драгоценных металлов.

***Ключевые слова:** фенол, ацетон, катализаторы, драгоценные металлы, абгазы.*

CATALYSTS FOR THE PROCESS OF AFTERCOMBUSTION OF ABSORBENT GASES FOR THE PRODUCTION OF PHENOL AND ACETON

R.M. Palatova, T.R. Prosochkina, K.E. Yurtukaev

Scientific Supervisor – **R.M. Palatova**

Ufa State Petroleum Technological University

The method of optimizing the catalytic process of absorbent gases afterburning at phenol and acetone production by replacing catalyst without precious metals is described.

***Keywords:** phenol, acetone, catalysts, precious metals, absorbent gases*

Энергосбережение в нефтехимии и других отраслях промышленности становится актуальным направлением. В течение последнего десятилетия многие промышленные предприятия активно внедряют современные технологии, обновляют или оборудование, а также совершенствуют каталитические системы с целью увеличения производительности и снижения энергозатрат.

Фенол является одним из основных крупнотоннажных продуктов промышленности основного органического и нефтехимического синтеза и применяется во многих отраслях промышленности – химической, нефтехимической, фармацевтической, парфюмерной. На основе фенола про-

изводятся многочисленные красители, искусственные смолы, дубильные вещества, гербициды, дезинфицирующие средства, лекарственные препараты [1].

Одной из актуальных проблем обеспечения экологической безопасности современных производств является защита воздушной среды от загрязнения органическими выбросами. Для решения этой проблемы на большинстве промышленных предприятий функционируют системы газоочистки, нейтрализующие вредные вещества; энергопотребление этими системами, как правило, составляет более 30% от общего энергопотребления предприятия [2].

В России синтетический фенол производится исключительно кумольным способом с образованием ацетона и различных побочных продуктов. При процессе окисления изопропилбензола (кумола) в его гидропероксид побочными продуктами являются абгазы окисления (отработанный воздух), содержащие в своем составе азот, кислород, изопропилбензол муравьиную кислоту.

Изопропилбензол является сильным атмосферным загрязнителем, поэтому абгазы окисления перед выбросом в атмосферу должны быть очищены до норм предельно допустимой концентрации (ПДК), равной 175 мг/м³. Проблема комплексной очистки отходящих абгазов от токсичных компонентов стоит особенно остро. В настоящее время существует пять основных методов удаления газообразных загрязнителей: сжигание горючих загрязнений, конденсация, химическая обработка, абсорбция и адсорбция [3, 4]. К недостаткам каталитического процесса дожига изопропилбензола в абгазах можно отнести использование дорогостоящего катализатора, затраты на выгрузку и перевозку катализатора для регенерации у поставщика.

На ПАО «Уфаоргсинтез» используется каталитический процесс дожига, в качестве катализатора применяется алюмопалладиевый катализатор дожига газовых выбросов. Предлагается использование катализатора без содержания драгоценного металла палладия, что позволит существенно уменьшить затраты на экологические мероприятия (таблица 1).

Таблица 1. Состав катализаторов дожига абгазов

Наименование марки катализатора/состав	№1	№2	№3
Al ₂ O ₃	94,3	59,6	82,8
SiO ₂	3,2	31,3	10,6
SO ₃	2,0	3,4	1,7
MgO	-	2,5	-
Fe ₂ O ₃	Менее 0,1	1,8	Менее 0,1
La ₂ O ₃	-	-	3,6
Остальные примеси	Менее 0,5 % масс		

Результаты исследования показывают, что данные катализаторы очищают от абгазы от остатков изопропилбензола до установленных норм и могут рассматриваться в качестве альтернативы катализаторам, содержащими драгоценные металлы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фенол. Свойства. Применение. Методы получения: учеб. пособие / С.Х. Нуртдинов, Р.Б. Султанова, Р.А. Фахрутдинова. Казань: КГТУ. 2005.
2. *Соколов Р.С.* Химическая технология. М.: Владос, 2000. Т.2. 448 с.
3. *Лаптев А.Г.* Повышение эффективности и энергосбережение при очистке абгазов от кумола в производстве фенола / А.Г. Лаптев, М.И. Фарахов, М.М. Башаров // Тр. Академического КНИЦ РАН. 2008. № 3. С 36-39.
4. *Фахретдинов А.А.* Извлечение изопропилбензола из абсорбционных газов узла окисления производства фенола, ацетона и альфа-метилстирола /А.А. Фахретдинов, В.Т. Щербаков, Т.Р. Просочкина // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2017. № 6. С. 96-110. URL: <http://ogbus.ru>

ДАЛЬНЕЙШЕЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫПУСКА ЗИМНЕГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ПАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС»

В.А. Пинаевская, А.В. Тарасов, Д.В. Борисанов

Научный руководитель - **Д.В. Борисанов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проработана возможность увеличения выпуска зимнего дизельного топлива на ПАО «Славнефть-ЯНОС» за счет снижения содержания балластных фракций в фракции тяжелого дизельного топлива колонны К-3/3 установки АТ. Выполнено хроматографическое исследование фракции К-3/3, выводимой с установки ЭЛОУ-АТ-4 на блок изодепарафинизации установки Л-24/7, методом имитированной дистилляции. Определено процентное содержание балластных фракций, выкипающих с температурой до 300 °С и имеющих температуру помутнения минус 22 °С. Предложено технологическое решение для уменьшения содержания балластных фракций в данном потоке.

Ключевые слова: зимнее дизельное топливо, температура помутнения, фракция К-3/3, фракция К-3/2, балластные фракции, установка ЭЛОУ-АТ-4, имитированная дистилляция

INVESTIGATION OF POSSIBILITY INCREASING WINTER DIESEL FUEL OUTPUT BY PJSC SLAVNEFT-YANOS

V.A. Pinaevskaya, A.V. Tarasov, D.V. Borisanov

Scientific Supervisor – **D.V. Borisanov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The possibility of increasing the output of winter diesel fuel at PJSC Slavneft-YANOS by reducing the ballast fractions in the K-3/3 heavy diesel fuel fraction has been worked out. Chromatographic study of the K-3/3 fraction removed from the ELOU-AT-4 unit to the L-24/7 isodeparaffinization unit by simulated distillation has been performed. The percentage of ballast fractions boiling off at a temperature of up to 300 °C and having a turbidity temperature of minus 22 °C. A technological solution is proposed to reduce the content of ballast fractions in this stream.

Keywords: winter diesel fuel, turbidity temperature, K-3/3 fraction, K-3/2 fraction, ballast fractions, ELOU-AT-4 unit, simulated distillation

Зимнее дизельное топливо (ДТЗ) – один из востребованных продуктов нефтепереработки, и востребованность эта характерна в первую очередь для России. Производимые в Европейских странах сорта дизельного топлива чаще всего имеют летний или межсезонный характер в силу их мягкого климата. В России потребление ДТЗ будет только расти. Возникает необходимость наращивания объемов производства зимнего дизельного топлива для обеспечения рынка и обеспечения энергетической и транспортной стабильности страны в целом.

С 2013 года в ПАО «Славнефть-ЯНОС» уже увеличен выпуск ДТЗ, основанный на предварительном разделении суммарного ДТ на легкое, уже отвечающее требованиям к низкотемпературным свойствам к ДТЗ, и тяжелое дизельное топливо, которое направляется в качестве сырья на установку каталитической гидроизодепарафинизации. В реактор направляются фракции, выкипающие выше 300 °С, где как раз и сконцентрированы тяжелые нормальные парафины - исходные вещества для протекания основной реакции. Для разделения дизельного топлива использовались колонны К-2 имеющих традиционных установок атмосферно-вакуумной трубчаткой с выводом легкого и тяжелого дизельных топлив из стриппигов К-3/2 и К-3/3 соответственно. Способ [1] позволил увеличить выпуск дизельного топлива зимнего в два раза на тех же мощностях. Существующая схема получения зимнего дизельного топлива на ПАО «Славнефть-ЯНОС» представлена на рис. 1.

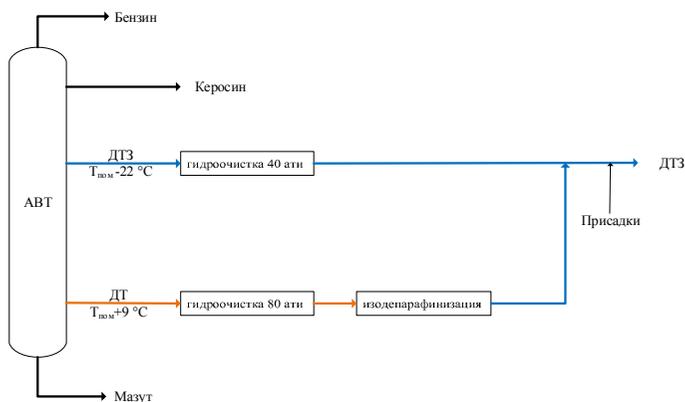


Рис. 1. Существующая схема получения зимнего дизельного топлива на ПАО «Славнефть-ЯНОС»

Раздельный вывод легкого и тяжелого дизельного топлива позволил снизить содержание фракций, выкипающих ниже 300 °С и имеющих

температуру помутнения минус 22 °С в фракции из К-3/3, направляемой на блок изодепарафинизации установки Л-24/7, но не исключил их полностью. Как ранее отмечалось [2], содержание фракций, выкипающих до 300 °С, составляет в этом продукте примерно 21 %. Более полного извлечения балластных легких фракций из ДТЗ добиться не удастся в силу относительно низкой разделительной способности типового колонного оборудования. Для увеличения доли отгона легкокипящих балластных фракций ранее [2] уже предлагалось установить на нижний стриппинг сложной колонны К-3/3 кипятильник, который позволяет отогнать от сырья установки депарафинизации дополнительно около 6 т/ч продуктов, не нуждающихся в депарафинизации и обладающих необходимыми низкотемпературными свойствами. Но указанное решение имеет ряд недостатков. Первый: для обогрева такого кипятильника необходим свободный высокотемпературный поток или теплоноситель с избыточным содержанием тепла, отсутствующий на установке. Второй недостаток заключается в относительно небольшом (всего 6 т/ч) перераспределении компонентов между потоками легкого и тяжелого дизельного топлива, и как следствие небольшом выигрыше и в объеме выпускаемого ДТЗ, и в величине экономического эффекта от модернизации.

В продолжение ранее проведенных исследований предложен и проверен расчетом ряд новых решений этой задачи. В качестве окончательного варианта, примерно вдвое более эффективного, предложен отказ от использования рибойлера (а значит и от дополнительного теплоносителя) за счет дополнительной ректификации тяжелого дизельного топлива в существующем стриппинге К-3/3. Предложено решение, которое позволяет добиться получения необходимой для ректификации паровой фазы за счет процесса дросселирования перегретой жидкости, что позволяет увеличить вывод балластных фракций из сырья установки депарафинизации напрямую в состав ДТЗ. При этом подобное решение практически не затрагивает существующую схему ректификации и теплообмена на установке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка способа увеличения выпуска дизельного топлива зимнего в ОАО «Славнефть-ЯНОС» / А.А. Никитин, Е.Н. Карасев, Э.В. Дутлов, А.В. Пискунов, Д.В. Борисанов // Мир нефтепродуктов. 2015. № 9. С. 14-17.
2. Исследование возможности увеличения выпуска зимнего дизельного топлива на ПАО «Славнефть-ЯНОС» / Алпатов М.А. [и др.] // Семьдесят шестая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 19-20 апреля 2023 г.б Ярославль: сб. материалов В 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. 1 CD-ROM. С. 84-86.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРИСТАЛЬТИЧЕСКИХ НАСОСОВ В НЕФТЕХИМИИ

В.Л. Сайтиева, Е.Ф. Трапезникова

Научный руководитель – **Е.Ф. Трапезникова**, канд. техн. наук,
доцент

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Описывается современное дозирующее устройство - перистальтический насос, его характеристика и конструктивные особенности. Рассматриваются плюсы и минусы устройства.

***Ключевые слова:** перистальтический насос, системы дозирования*

APPLICATION OF PERISTALTIC PUMPS IN PETROCHEMISTRY

V.L. Saitieva, E.F. Trapeznikova

Scientific Supervisor – **E.F. Trapeznikova**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Ufa State Petroleum Technological University

The modern dosing device, the peristaltic pump, its characteristics and design features are described. The pros and cons of the device are considered.

***Keywords:** peristaltic pump, dosing systems*

В процессах нефтехимии на всех этапах производственной цепочки химического предприятия – от получения сырья до выпуска готовой продукции – процессы дозирования и смешивания жидкостей имеют важнейшее значение, так как позволяют точно регулировать расход, а, следовательно, и концентрации веществ в реакционной смеси. Точное дозирование обеспечивает соблюдение требований технологических регламентов. От данных процессов зависит эффективность проводимых операций и качество получаемых продуктов. Для решения подобных задач применяют специальные дозирующие устройства – насосы. Среди них наиболее распространенным является перистальтический.

Перистальтический насос – это гидравлическая машина объемного типа, служащая для перекачки жидкостей, перемещающихся по гибким трубкам.

Перистальтический насос включает в себя следующие элементы:

- эластичный канал (трубка);
- ротор, зафиксированный на валу;
- ролики;

– трек, к которому трубка прижимается вращением роликов. В большинстве случаев трек представляет собой внутреннюю поверхность корпуса устройства.

Перистальтические насосы часто применяют в производстве для перекачивания разного рода жидкостей, для которых предъявляются особые требования к безопасности и чистоте. Главная особенность этого устройства состоит в отсутствии контакта среды с конструктивными частями самого прибора. Жидкость перекачивается по абсолютно герметичной трубке.

Принцип работы насоса базируется на вращении ротора, который оборудован вращающимися роликами. При движении ролики пережимают упругую трубку, способствуя поглощению среды через канал нагнетания. После поступления внутрь шланга жидкость перемещается по ней между двумя валиками к выходному каналу. Из-за высокой гибкости трубок они легко принимают свою исходную форму, позволяя вобрать новую порцию перекачиваемой среды в том же количестве.

Основные достоинства перистальтических насосов включают в себя:

- возможность перекачивания агрессивных и вязких жидкостей без контакта с механизмом насоса;
- высокая точность дозирования и устойчивость к изменению свойств перекачиваемой жидкости;
- легкость обслуживания и чистки насоса;
- обеспечение максимально точной дозировки (погрешность всего 0,5%).

Кроме достоинств данный вид насос также имеет ряд недостатков, к которым относятся ограничения по температуре перекачиваемой жидкости (до 90 °С), по внутреннему давлению (до 7-16 атм), падение производительности при перекачивании сильно вязкой среды. К тому же перистальтический насос для перекачки агрессивных сред имеет высокую стоимость, так как требует специальных материалов при изготовлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шайдаков В.В. Новое в насосном дозировании химических реагентов / В.В. Шайдаков, К.В. Чернова, А.В. Пензин. Инфра–Инженерия, 2015. 121 с.

ЭПОКСИДИРОВАНИЕ ЦИКЛОГЕКСЕНА ГИДРОПЕРОКСИДОМ ЦИКЛОГЕКСИЛА

А.А. Смурова, В.С. Кабанова, Е.А. Курганова, А.С. Фролов

Научные руководители – **Е.А. Курганова**, д-р хим. наук,
профессор; **А.С. Фролов**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Исследованы закономерностей процесса совместного получения эпоксициклогексана, циклогексанола, циклогексанона реакцией эпоксидирования циклогексена гидропероксидом циклогексила в присутствии катализатора — парамолибдата аммония.

Ключевые слова: циклогексен, циклогексан, гидропероксид циклогексила, циклогексанон, циклогексанол, жидкофазное окисление, эпоксидирование

EPOXIDATION OF CYCLOHEXENE WITH CYCLOHEXYL HYDROPEROXIDE

A.A. Smurova, E.A. Kurganova, A.S. Frolov

Scientific Supervisors – **E.A. Kurganova**, Doctor of Chemical
Sciences, Professor; **A.S. Frolov**, Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

To investigate the regularities of the process of joint production of epoxy cyclohexane, cyclohexanol, and cyclohexanone using the cyclohexene epoxidation reaction with cyclohexyl hydroperoxide in the presence of an ammonium paramolybdate catalyst.

Keywords: cyclohexene, cyclohexane, cyclohexyl hydroperoxide, cyclohexanone, cyclohexanol, liquid phase oxidation, epoxidation

Циклогексанон и циклогексанол являются востребованными соединениями в химической промышленности и находят применение, главным образом, в производстве полиамидов – найлона-6 и найлона-6,6.

Реализованные в промышленности технологии получения циклогексанола и циклогексанона заключаются в жидкофазном окислении цик-

логексана кислородом воздуха с использованием в качестве катализатора солей кобальта [1], и автокаталитическом жидкофазном окислении циклогексана до гидропероксида циклогексила и его последующем разложении до целевых продуктов в щелочной среде в присутствии солей кобальта [2]. Существенными недостатками этих процессов являются низкий выход целевых продуктов и образование большого количества щелочных стоков.

Замена щелочно-каталитического расщепления гидропероксида циклогексила реакцией эпоксицирования циклогексена гидропероксидом циклогексила (схема 1) позволит устранить указанные выше недостатки.

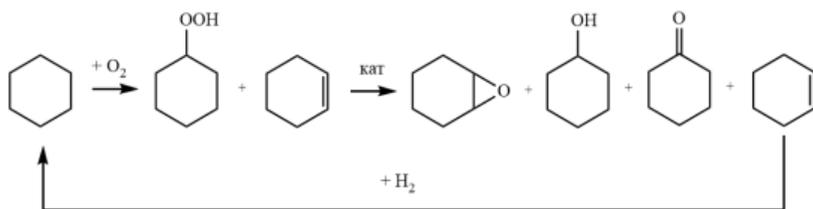


Схема 1

В результате реакции эпоксицирования наряду с циклогексанолом и циклогексаноном образуется эпоксициклогексан, который может быть выделен из продуктов реакции и использован для производства эпоксидных смол, фотореактивных полимеров, пестицидных акарицидов, поверхностно-активных веществ и резиновых добавок. Стоит отметить, что эпоксициклогексан представляет интерес для синтеза высокофункциональных хиральных строительных блоков, используемых в фармацевтической и агрохимической отраслях [3].

Используемый для реакции эпоксицирования циклогексен был синтезирован дегидратацией циклогексанола в присутствии концентрированной серной кислоты с выходом 80%. Структура полученного соединения была подтверждена методами ГЖХ и ИК-спектроскопией.

В ходе выполнения работы было изучено влияние таких технологических параметров как температура и продолжительность реакции на процесс образования гидропероксида циклогексила, используемого в качестве эпоксицирующего агента. Оптимальными условиями проведения реакции окисления являются температура $160\text{ }^{\circ}\text{C}$, давление воздуха 25 атм. и продолжительность реакции 20 минут. При этом удалось накопить 1,5% мас. гидропероксида при минимальном содержании карбоновых кислот. Полученный гидропероксид циклогексила был сконцентрирован

методом вакуумной ректификации до 5% мас. при температуре 65-70 °С и остаточном давлении 0,15-0,2 атм.

В результате исследования закономерностей реакции эпексидирования циклогексена гидропероксидом циклогексила было изучено влияние мольного соотношения реагентов, концентрации парамолибдата аммония, используемого в качестве катализатора, и температуры на выход целевых продуктов. При температуре 90 °С, продолжительности реакции 90 мин, содержании парамолибдата аммония 0,00013 г/атом Мо на 1 г гидропероксида удалось получить эпоксициклогексан с выходом 82%, циклогексанол и циклогексанон с выходом 99,5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лебедев Н.Н.* Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. М.: Альянс, 2013. 588 с.
2. *Фурман М.С.* Исследование процесса жидкофазного высокотемпературного окисления циклогексана / М.С. Фурман, В.В. Липес, Н.А. Гольяева // Химия и технология продуктов органического синтеза. 1966. Vol. 17, № 1. P. 21-30.
3. *Kotani S.* C–X Bond Formation: Organocatalytic Enantioselective Halogenation of meso Epoxides / S. Kotani, M. Nakajima // *Comprehensive Chirality*. 2012. Vol. 6. P. 506-517.

УДК 665.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОВЛЕЧЕНИЯ БЕНЗИНОВЫХ ФРАКЦИЙ УСТАНОВОК ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ В КЕРОСИН ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫПУСКА РЕАКТИВНОГО ТОПЛИВА

А.Н. Сулейманов, А.У. Сираждинова, А.В. Тарасов

Научный руководитель – **Д.В. Борисанов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются основные требуемые показатели качества для реактивных топлив по ГОСТ 10227-86 для компаундированного образца керосина, состоящего на 10% из легких бензиновых фракций.

***Ключевые слова:** реактивное топливо, фракционный состав, тяжелый бензин, температура вспышки*

INVESTIGATION OF THE INVOLVEMENT OF GASOLINE FRACTIONS OF PRIMARY OIL REFINING PLANTS IN KEROSENE TO INCREASE THE PRODUCTION OF JET FUEL

A.N. Suleymanov, A.U. Sirazhdinova, A.V. Tarasov

Scientific Supervisor – **D.V. Borisanov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The main required quality indicators for jet fuels according to GOST 10227-86 for a compounded kerosene sample consisting of 10% light gasoline fractions are considered.

***Keywords:** jet fuel, fractional composition, heavy gasoline, flash point*

Бензин и дизель постепенно вытесняются электрическими двигателями, однако реактивная тяга еще долгое время не будет иметь конкурентов с серьезной оппозицией. Все это делает керосин максимально маржинальным инструментом, и увеличение выпуска реактивного топлива является залогом стабильно высокой прибыли для предприятий. В на-

стоящее время производство реактивного топлива имеет широкий ассортимент эффективных во всех отношениях технологии, способных выпускать качественный товар в соответствии с ГОСТ 10227-86 на реактивное топливо. При этом среди других технологий нефтеперерабатывающей отрасли именно технологии очистки керосина могут обеспечить выход продукта до 99,9%. Таким образом, среди лидеров производства реактивного топлива выделяется предприятие ПАО «Славнефть-ЯНОС», которое смогло достигнуть максимального среди всех остальных предприятий, отбора авиатоплива до 11% от нефти (рис. 1) [1].



Рис. 1. Выход авиатоплива на крупнейших НПЗ РФ за 2023 год

Является ли отбор в 11% максимально возможным? Разумеется, потенциал для увеличения отбора керосина есть. Если обратиться к фракционному составу основных светлых нефтепродуктов, то можно заметить наложение смежных фракций, которые могут присутствовать и в бензине, и в керосине, и в дизельном топливе (рис. 2) [2].

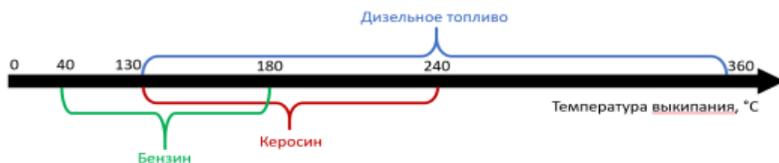


Рис. 2. Фракционный состав основных нефтепродуктов

Таким образом, существует теоретическая возможность увеличения выпуска ТС-1 как за счет бензина, так и дизельного топлива. Однако, как известно, добавление легких фракций негативно сказывается на температуре вспышки керосина, что должно нивелироваться добавлением более тяжелых фракции, но они в свою очередь негативно сказываются на температуре начала кристаллизации товарной продукции. В настоящее время увеличение отбора реактивного топлива осуществимо в основном за счет снижения выпуска других нефтепродуктов, но добиться этого весьма проблематично, поскольку традиционная схема работы установок

атмосферно-вакуумной трубчатки (АВТ) не позволяет этого сделать. Дело в том, что двухколонная система работы этой установки позволяет отбирать больше бензина в колонне К-1, во избежание излишней нагрузки печи нагрева и системы конденсации колонны К-2, поэтому целевые фракции 140-190 °С попадают в бензин и не могут быть выделены вместе с керосином в К-2. Изменять режим работы К-2 для получения керосина возможно, только если необходимо выделить более тяжелые дизельные фракции. Однако на самой установке АВТ существует дополнительный источник целевых керосиновых фракций. Соответственно, если целевые фракций 140-190 °С попадают в бензин, то его и необходимо использовать в качестве инструмента для извлечения необходимых компонентов товарного керосина. Поэтому решение проблемы по увеличению выпуска реактивного топлива стоит искать в тяжелом бензине блока вторичной перегонки установки АВТ с фракционным составом 100-180°С.

Первоначальным этапом исследования ставится задача, заключающаяся в том, чтобы смесь бензин/керосин соответствовала основным требуемым показателям ГОСТ 10227-86 на реактивные топлива. Для этого были скомпаундированы и проанализированы несколько смесей бензин/керосин в различных пропорциях. Лучшие результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1. Аналитические данные исходного образца керосина и компаундированного сырья блока ГДМ

Наименование показателя	Показатель ГОСТ на продукт блока ГДМ	Прямогонный керосин (исходный)	Фр. 140-240 °С + 10% фр. 100-180 °С
Плотность при 20 °С, кг/м ³ .	Не менее 780,0	789,0	780,2
Кинематическая вязкость, сСт, при температуре 20 °С	не менее 1,3	1,45	1,34
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	Не менее 43120	43282	43301
Высота некопящего пламени, мм	Не менее 25	25,3	27
Кислотность, мг КОН на 100 см ³ топлива	Не более 0,7	0,59	0,61
Иодное число, г йода на 100 г топлива	Не более 2,5	0,7	0,9
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С	Не ниже 28	32	30
Температура начала кристаллизации, °С	Не выше -60	-62	-63
Массовая доля общей серы, %	Не более 0,2	0,18	0,16
Массовая доля меркаптановой серы, %	Не более 0,003	0,016	0,020

Таким образом, максимальное вовлечение в керосин бензина соответствует 10%. При дальнейшем вовлечении бензина происходит ухудшение вязкости и температуры вспышки, однако наблюдается рост показателя меркаптановой серы, что выглядит логично [3]. Поэтому для дальнейшей очистки смесь необходимо отправить либо на гидроочистку реактивного топлива или на блок гидродемеркаптанализации (ГДМ), что является наиболее предпочтительным выбором ввиду высокой эффективности процесса. В связи с проведенными исследованиями появляется теоретическая возможность направить часть (до 10%) тяжелого бензина 100-180 °С низа колонны К-10 установке АВТ в сырье блока ГДМ, а другая часть останется сырьем установок риформингов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ИнфоТЭК: ежемесячный нефтегазовый журнал / Изд-во ООО «Издательский дом «ИнфоТЭК». 2024. №12.
2. Маржинальность переработки прямогонных фракций современного НПЗ / М.А. Бубнов, Н.Н. Вахромов, И.В. Гудкевич [и др.] (Нефтехимия: технология, процессы) // Мир нефтепродуктов. 2022. № 1. С. 24-30.
3. *Капустин В.М.* Технология переработки нефти. Часть первая. Первичная переработка нефти / под ред. О.Ф. Глаголевой. М.: КолосС, 2012. 456 с.

УДК 66.661

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ
ПАРО-ЖИДКОСТНЫХ ПОТОКОВ В РАЗЛИЧНЫХ
КОНСТРУКЦИЯХ ЗОН ВВОДА СЫРЬЯ
ПРИ ПОМОЩИ CFD-АНАЛИЗА**

В.А. Чураков, Г.М. Сидоров, Т.И. Маннанов

Научный руководитель – **Г.М. Сидоров**, д-р техн. наук, профессор

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Рассматривается анализ различных конструкций зон ввода сырья, методом CFD-анализа.

Ключевые слова: конструкция, зона ввода сырья, CFD-анализ

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF SEPARATION
OF VAPOR-LIQUID FLOWS IN VARIOUS CONSTRUCTIONS
OF THE INPUT ZONE OF FEED USING CFD ANALYSIS**

V.A.Churakov, G.M. Sidorov, T.I. Mannanov

Scientific Supervisor – **G.M. Sidorov**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Ufa State Petroleum Technological University

The analysis of various constructions of the input zones of feed by CFD-analysis is considered.

Keywords: construction, raw material input zone, CFD-analysis

Устройство ввода сырья предназначено для плавного безударного ввода парожидкостных потоков и направления парового потока в верхнюю-укрепляющую секцию, а жидкостного потока в нижнюю-отгонную секцию ректификационной колонны. Основные программы расчёта процессов ректификации, такие как HYSYS, PROII и т.д. предусматривают 100% разделение парожидкостных потоков в зоне питания и не учитывают гидродинамическую составляющую, которая будет обязательно присутствовать вследствие необходимости разделения двухфазного потока сырья. Унос капель жидкости в укрепляющую секцию колонны может

значительно ухудшить качественные характеристики получаемых продуктов разделения. Основная проблема заключается в том, что математическое моделирование в среде HYSYS даже этого не сможет воспроизвести, поскольку в этой системе считаются только массообменные процессы. Попадание растворенного газа в нижнюю - отпарную секцию колонны также значительно снижает эффективность работы аппарата в целом, поскольку изменяет реальные составы потоков в сторону ухудшения КПД, что совершенно не учитывается в расчётной программе HYSYS. Представляет научный и практический интерес исследование влияния конструктивного оформления устройств ввода сырья на энергозатраты процесса ректификации [1-2] и полноту разделения парожидкостных потоков в зоне питания ректификационной колонны, котором должны учитываться как гидродинамическая, так и массообменная составляющая процесса разделения в зоне питания. Для учёта гидродинамической составляющей при моделировании реальной ситуации, создающейся в аппарате, необходимо кроме типовых программ расчёта процесса ректификации рассматривать программы, учитывающие гидродинамические характеристики входящих потоков, такие как ANSYS. Только моделирование процесса разделения в двух расчётных средах HYSYS и ANSYS может адекватно оценить ситуацию, складывающуюся в зоне питания ректификационных колонн и сепараторов. В этом случае расчётная среда ANSYS конкретного конструктивного оформления.

На данный момент все зарубежные компании, занимающиеся внутренними устройствами ректификационных аппаратов, к которым относятся и устройства ввода сырья, обязательно оценивают их работу в расчётной среде ANSYS, что позволяет оптимизировать их конструктивное оформление. Однако работ, посвящённых данному вопросу, в нашей стране не так много, что свидетельствует об особой актуальности и значимости исследований в этой области.

В данной работе рассмотрены первичные результаты исследования различных конструкций зон питания методом CFD-моделирования в расчётной среде ANSYS с точки зрения учёта полноты разделения паровых и жидкостных потоков в различных рассматриваемых конструкциях устройств ввода сырья. Приведены результаты расчёта различных конструкций устройств ввода сырья в среде ANSYS при различных скоростях потока сырья от 5 до 30 м/с (рис.1-4).

Из рис. 1 видно, насколько меньше становится каплеунос жидкой фазы даже в типовом каплеотбойном устройстве ввода сырья по сравнению с вариантом подачи сырья в штуцер без организации какой-либо зоны питания в колонне.

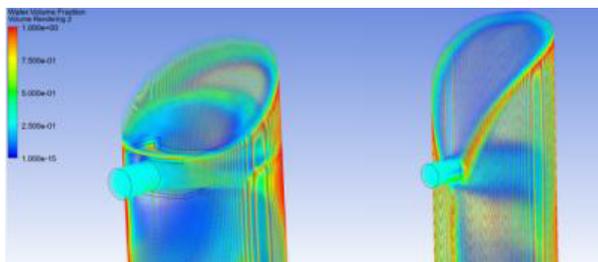


Рис. 1. Сравнительный анализ типового отбойного устройства ввода и варианта без зоны ввода сырья при скорости подачи сырья 15 м/с

Для сравнения на рис. 2-4 представлено распределение жидкой фазы при скорости подачи сырья 15 м/с для вновь разработанных конструкций зон питания. Все горизонтальные проекции различных новых разработанных нами устройств показывают, что скорости жидкой фазы находятся в области средних и низких значений (в зелёной и синей области, красная высокоскоростная область в горизонтальном сечении отсутствует). Это означает, что все конструкции отбрасывают жидкость к стенке аппарата, по которой она стекает в нижнюю отгонную секцию. Однако наблюдается частичный заброс этой жидкости выше высотной отметки, соответствующей вводу парожидкостного потока. Исходя из степени этого заброса, который и приводит к каплеуносу жидкости в верхнюю секцию и можно судить о перспективности той или иной рассматриваемой нами конструкции.

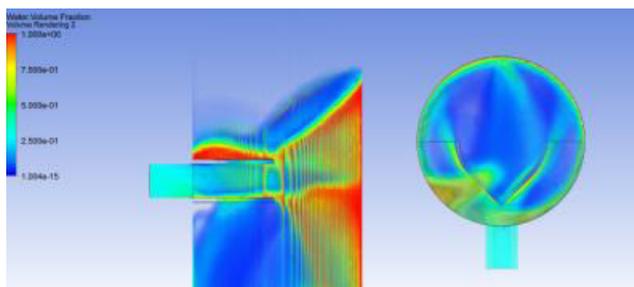


Рис. 2. Распределение жидкой фазы в новом разработанном CV-образном рассекающем устройстве при скорости подачи сырья 15 м/с

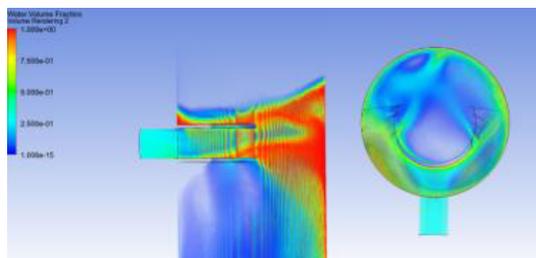


Рис. 3. Распределение жидкой фазы в новом разработанном С-образном лопастном устройстве при скорости подачи сырья 15 м/с

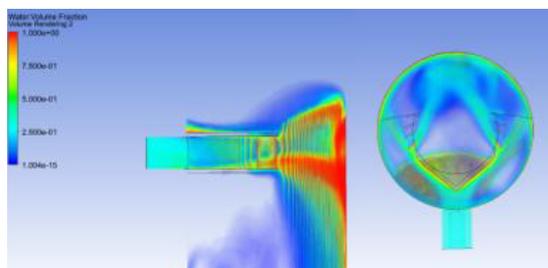


Рис. 4. Распределение жидкой фазы в новом разработанном CV-образном лопастном рассекающем устройстве при скорости подачи сырья 15 м/с

Из рис. 4 видно, что заброс жидкой фазы в вышерасположенную укрепляющую секцию минимален для лопастных рассекающих устройств.

Таким образом, проведение CFD-анализа позволяет оценить влияние конструктивного оформления зон питания на эффективность процесса разделения парожидкостных потоков. Предварительные исследования, проведённые нами, показывают перспективность разработки конструкций лопастных рассекающих устройств ввода сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маннанов Т.И. Расчетное исследование влияния полноты сепарации парожидкостного сырья на энергозатраты процесса ректификации различных смесей / Т.И. Маннанов, В.А. Чураков, С.К. Чуракова. // Булатовские чтения. 2022. Т. 2. С. 100-102.
2. Чураков В.А. Сравнительный анализ степени влияния эффективности сепарации парожидкостного потока в зоне питания на энергозатраты процесса при различных условиях разделения / В.А. Чураков, Т.И. Маннанов, С.К. Чуракова // Булатовские чтения. 2023. Т. 2. С. 114-119.

СИНТЕЗ АЛКИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ГОМОЛОГОВ БЕНЗОЛА

**Е.Р. Швайковская, В.С. Кабанова, Е.А. Курганова,
Г.Н. Кошель**

Научный руководитель – **Г.Н. Кошель**, д-р хим. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Были исследованы закономерности реакций алкилирования втор-бутилбензола, пара-ксилола и толуола спиртами, а также подобраны условия, позволяющие получать целевые продукты с наибольшим выходом.

Ключевые слова: алкилирование, алкилароматические углеводороды, ксиленолы, крезолы, втор-бутилтолуол, втор-бутил-пара-ксилол, пара-третбутил-втор-бутилбензол

SYNTHESIS OF ALKYL DERIVATIVES OF BENZENE'S HOMOLOGUES

**E.R. Shvaykovskaya, V.S. Kabanova, E.A. Kurganova,
G.N. Koshel**

Scientific Supervisor – **G.N. Koshel**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

During the series of experiments, such reactions as alkylation of sec-butylbenzene, para-xylene and toluene with alcohols were done and certain conditions, allowing to receive the product with the highest yield, were chosen.

Keywords: alkylation, alkylaromatic hydrocarbons, sec-butylbenzene, sec-butyltoluene, sec-butyl-paraxylene, para-t-butyl-sec-butylbenzene

Данный процесс рассматривается как первая стадия гидропероксидного способа получения фенола и его алкильных производных совместно с кетонами и состоит из трех стадий: алкилирование ароматического углеводорода, жидкофазное аэробное окисление полученного продукта с образованием соответствующего гидропероксида и его кислотное разложение в алкилфенол и соответствующий кетон.

Данный метод является аналогом кумольной технологии, в процессе которой наряду с фенолом, образуется ацетон, объем потребления которого ниже, чем у фенола. В связи с этим появляется интерес в использовании других гомологов бензола, так как это позволило бы синтезировать с фенолом разнообразные кетоны (например, метилэтилкетон), объем потребления которых мог бы сравниться с фенолом.

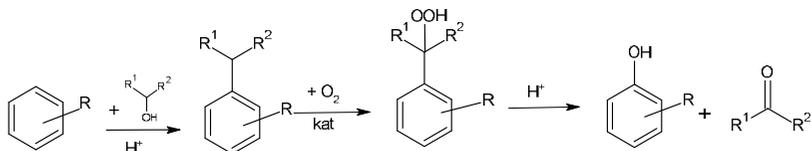


Рис. 1. Схема процесса

Фенол и его алкильные производные такие, как крезолы и ксиленолы находят широкое применение в различных областях производства и потребления. Так, сфера применения фенола охватывает области производства поверхностно-активных веществ, ядохимикатов и других физиологически активных веществ, стабилизаторов для различных органических материалов. Большое промышленное значение имеет конденсация фенолов с формальдегидом и фурфуролом, приводящая к образованию смол и лаков [1].

Крезолы являются хорошими растворителями и используются в качестве промежуточных веществ в различных синтезах. Также широко применяются в разных отраслях промышленности. Так, *о*-крезол применяется для получения красителей и специальных лаковых смол фенольного типа, используется для получения гербицидов. Большой процент *о*-крезола используется для производства дикрезилпропана – стабилизатора синтетических каучуков. *м*-Крезол может быть использован для производства быстроотверждающихся смол, обладающие большей термо- и водостойкостью, чем фенолоальдегидные смолы. На основе *м*-крезола может быть получен трикрезилфосфат, применяемый в качестве пластификаторов и антипирена для различных полимеров. Основное направление использования *п*-крезола – производство ионала (2,6-*ди-трет*-4- метилфенола), нетоксичного стабилизатора для пластмасс и каучуков [2].

Диметилфенолы (ксиленолы) могут применяться как индивидуально, так и в смеси изомеров. Например, смеси изомерных ксилолов служат сырьем для синтеза специальных сортов триксиленилфосфатов, используемых в турбинных маслах. 2,4-ксиленол в значительном количестве применяется для синтеза антиоксиданта топанола А. На основе 2,6-

ксиленола может быть получен полифеноксид, применяющийся в электротехнике и в производстве медицинского оборудования [3].

Важным вопросом является получение исходных углеводородов для последующего окисления, так как в литературе отсутствуют данные об их синтезе.

В связи с вышеизложенным актуальным является изучение закономерностей процесса алкилирования гомологов бензола различными спиртами с целью выбора условий, обеспечивающих максимальный выход целевых продуктов.

В ходе выполнения работы были изучены закономерности алкилирования толуола бутанолом-1, установлено, что в результате данной реакции образуются три изомера *втор*-бутилтолуола. Была проведена серия экспериментов, направленных на исследование процессов алкилирования *пара*-ксилола бутанолом-1 и *втор*-бутилбензола *трет*-бутанолом. Содержание промежуточных и целевых продуктов подтверждено методом газо-жидкостной хроматографии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рынок базовых продуктов нефтехимии: олефины и ароматические углеводороды // Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2019. 70 с.
2. Фролов А.С. Гидропероксидный метод получения ксиленолов совместно с ацетоном: дис. ... канд. хим. наук. 2016.
3. Цимольный метод получения крезолов и ацетона / Г.Н. Кошель, Е.А. Курганова, Ю.Б. Румянцева, А.С. Фролов, В.В. Плахтинский, Т.Н. Нестерова, В.Н. Сапунов // Химическая промышленность сегодня. 2014. № 1. С. 11-17.

РАЗРАБОТКА СОВМЕСТНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ *пара-трет*-БУТИЛФЕНОЛА И ЦИКЛОГЕКСАНОНА

А.И. Шестакова, Е.И. Баёв, Е.А. Курганова

Научный руководитель – **Е.А. Курганова**, д-р хим. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

Разработаны научные и прикладные основы совместного способа получения пара-трет-бутилфенола и циклогексанона. Исследованы основные стадии предлагаемого метода.

Ключевые слова: *пара-трет-бутилфенол, циклогексанон, циклогексилбензол, пара-трет-бутилциклогексилбензол, алкилирование, аэробное окисление, кислотное разложение*

DEVELOPMENT OF A JOINT METHOD FOR THE OBTAINING OF *para-tert*-BUTYLPHENOL AND CYCLOHEXANONE

A.I. Shestakova, E.I. Bayov, E.A. Kurganova

Scientific Supervisor – **E.A. Kurganova**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

Scientific and applied bases of the joint method for the obtaining of para-tert-butylphenol and cyclohexanone have been developed. The main stages of the proposed method were investigated.

Keywords: *para-tert-butylphenol, cyclohexanone, cyclohexylbenzene, para-tert-cyclohexylbenzene, alkylation, aerobic oxidation, acid decomposition*

пара-трет-Бутилфенол является одним из основных гомологов фенола, используемых в качестве полупродукта основного органического синтеза. Сфера его применения постоянно расширяется, охватывая производство антиоксидантов, пестицидов, каучуков, лаков, красок, и в последнее время фармацевтических препаратов. Перспективными направлениями использования *пара-трет*-бутилфенола являются производство фенольной смолы 2402, применяемой в клееных изделиях из кожи, а также получение на его основе таких соединений, как каликсарены и 4-*трет*-бутилпирокатехин [1, 2]. Из *пара-трет*-бутилфенола и ацетилен

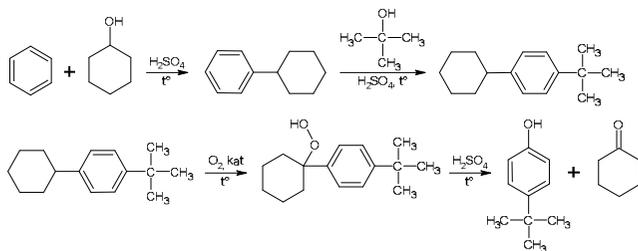
получают полимер «Koresin», который устойчив к действию влаги, тепла и кислорода воздуха [3].

Циклогексанон относится к крупнотоннажным продуктам основного органического синтеза и находит свое применение в производстве капролактама, различных полимерных волокон, а также в других важных отраслях химического производства [4, 5].

Реализованные в промышленности способы получения указанных выше соединений обладают рядом существенных недостатков. Циклогексанон в России в основном производят из бензола через циклогексан по устаревшей технологии в две стадии. К основным недостаткам этого окислительного метода можно отнести: низкие конверсию циклогексана (7-8%) и селективность образования кетона, которые приводят к потере 40% исходного сырья.

Промышленный синтез *para-tert*-бутилфенола осуществляется алкилированием фенола изобутиленом. Недостатком данного метода является низкая селективность (70-75%) образования бутилфенола, при этом наряду с *para*-изомером образуются *ortho*- и *meta*-изомеры *tert*-бутилфенола. Последние, как известно, имеют близкие с *para-tert*-бутилфенолом температуры кипения, что существенно затрудняет выделение целевого продукта из реакционной смеси с достаточно высокой степенью чистоты. Также следует отметить тот факт, что *para-tert*-бутилфенол выпускается в небольших количествах только на одном предприятии Российской Федерации. Малотоннажное производство этого соединения ограничивает сферы его использования, а также приводит к тому, что компаниям приходится закупать его у зарубежных производителей.

Устранить отмеченные выше недостатки действующих производств циклогексанона и *para-tert*-бутилфенола практически невозможно. Однако решением проблемы может стать предлагаемый новый способ совместного получения этих соединений на основе доступного нефтехимического сырья, который включает в себя: синтез *para-tert*-бутилциклогексилбензола на основе бензола, аэробное окисление этого соединения до соответствующего гидропероксида и кислотное разложение последнего до целевых продуктов: *para-tert*-бутилфенола и циклогексанона.



К основным преимуществам предлагаемого способа перед известными технологиями можно отнести:

- высокую селективность образования целевых продуктов;
- образование меньшего количества побочных соединений;
- возможность получения *пара-трет*-бутилфенола с высокой степенью чистоты;
- одновременное получение двух ценных продуктов основного органического синтеза;
- применение доступных и эффективных катализаторов.

В процессе выполнения работы были изучены закономерности алкилирования бензола циклогексанолом в присутствии концентрированной серной кислоты. Найдены условия, позволяющие получать циклогексилбензол с выходом 75%. Синтезирован *пара-трет*-бутилциклогексилбензол алкилированием циклогексилбензола *трет*-бутиловым спиртом с выходом 80%. Проведено окисление *пара-трет*-бутил-циклогексилбензола до гидропероксида. Установлено, что массовая доля гидропероксида в оксидате достигает 36 %. Экспериментально подтверждена возможность получения *пара-трет*-бутилфенола и циклогексанона кислотным разложением гидропероксида *пара-трет*-бутилциклогексилбензола. Идентификация промежуточных и целевых продуктов осуществлялась с использованием методов йодометрического титрования, газо-жидкостной хроматографии, ИК- и ЯМР ¹H-спектроскопии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Patent № 116284625 CN, Fusing-assisting special resin and preparation method thereof / Huang Shengrong, Guo Yuanxing: published 23.06.2023.
2. Selective extraction of Pd(II) using 5,11,17,23-tetra-tert-butyl-25,26,27,28-tetra[(2-ethylthio)ethoxy]thioalix[4]arene as extractant / J. He [et al.] // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2022. Vol. 10. I. 5.
3. *Rodgers B.Ed.* Rubber compounding: chemistry and applications // Boca Raton: CRC Press. 2015. P. 421.
4. Cyclohexanol and Cyclohexanone. Chemical economics handbook. 2023. URL: <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/ci/products/cyclohexanol-chemical-economics-handbook.html>
5. Biomedical applications of biodegradable polycaprolactone-functionalized magnetic iron oxides nanoparticles and their polymer nanocomposites / O.S. Obisesan [et al.] // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2023. Vol. 227. P. 1-11.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО КАУЧУКА ЭТИЛЕН-ПРОПИЛЕНОВОГО ТРОЙНОГО И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЕГО ОСНОВЕ

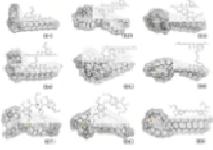
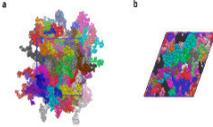
Д.А. Федорова, Э. Р. Атнабаева, Т.Р. Просочкина

Научный руководитель – **Т.Р. Просочкина**, д-р хим. наук,
профессор

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Анализ методов моделирования синтетического каучука этилен-пропиленового тройного (СКЭПТ) позволяет выявить их преимущества и недостатки для определения структуры, выявления межмолекулярных взаимодействий в веществе, вычисления физико-химических свойств и прогнозирования поведения материала при различных условиях и нагрузках (табл. 1).

Таблица 1. Анализ методов моделирования СКЭПТ

№п/п	Объект моделирования	Метод моделирования	Результат моделирования	Ссылка
1	2	3	4	5
1	Молекулярные цепи СКЭПТ с различными типами сшивки 	BIOVIA Materials Studio	Определены оптимальные параметры процесса сшивки, обеспечивающие максимальную прочность и гибкость СКЭПТ: время проведения сшивки - 2 часа; температура: 150 °С; давление: 5 атм.	[1]
2	Модель СКЭПТ 	Material Studio 8.0	1. Увеличение количества поперечных связей приводит к увеличению модуля упругости СКЭПТ. 2. Повышение температуры и увеличение частоты колебаний приводят к снижению модуля упругости.	[2]

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
3	<p>Мономерная молекулярная модель СКЭПТ</p>	Gaussian Multiwfn	Установлено влияние внешних электрических полей на изоляционные свойства молекул.	[3]
4	<p>Модель КЭПТ вулканизованная п-динитрозобензолом</p>	Gaussian-98, метода DFT B3LYP, базис 6-31 G(d)	Установлено влияние различных факторов на модель СКЭПТ при вулканизации п-динитрозобензолом.	[4]
5	<p>Молекулярная структура СКЭПТ</p>	Biovia Materials Studio	Изучено: диффузия, сорбция и коэффициенты проницаемости пяти газов (H_2 , N_2 , O_2 , CO_2 , CH_4) в СКЭПТ.	[5]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Effect of Cross-Linking Type on EPDM Elastomer Dynamics and Mechanical Properties: A Molecular Dynamics Simulation Study / Y. Wang, H. Liu, P. Li, L. Wang *Polymers*. 2022. 14(7). 1308.
2. Quantifying chemical composition and cross-link effects on EPDM elastomer viscoelasticity with molecular dynamics / A. Wang, F. Vargas, J. Younker, K. Iyer, K. Shull, S. Ketten // *Macromolecules*. 2021. 54(14). P. 6780-6789.
3. Pang Z. Electrical breakdown mechanism of ENB-EPDM cable insulation based on density functional theory / Z. Pang, Y. Li, Y. Zhang // *Polymers*. 2023. Vol. 15. 1217.
4. Ключников О.Р. Тепловые и активационные эффекты начальных стадий вулканизации этиленпропилендиенового каучука СКЭПТ-ЭНБ п-динитрозобензолом / О.Р. Ключников, И.А. Закирова, Я.О. Ключников // *Вестник технологического университета*. 2013. Т. 16, вып. 17. С. 134-137.
5. Molecular simulations of gas transport in hydrogenated nitrile butadiene rubber and ethylene-propylene-diene rubber / J. Tan, C. Chen, Yiwu Liu, J. Ding Wu, X. Zhang, X. Zhihong, R. Heb, H. Zhan // *RSC Adv*. 2020. Vol. 10. 12475.

**СЕКЦИЯ
«ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ
И БИОТЕХНОЛОГИЯ»**

УДК 543.551.4: 543.062: 615.322

АНТИОКСИДАНТНАЯ ЕМКОСТЬ БАД ИЗ ИНДИИ

**М.А. Аввакумова, Н.Н. Ященко,
С.В. Житарь, Е.Г. Зиновьева, А.Н. Лыщиков**

Научный руководитель – **Н.Н. Ященко**, канд. хим. наук, доцент

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

В работе приведены результаты определения антиоксидантной емкости индийских БАД с помощью метода Левентала.

Ключевые слова: БАД, антиоксидантная емкость, метод Левентала

**ANTIOXIDANT CONTAINER
DIETARY SUPPLEMENT FROM INDIA**

**M.A. Avvakumova, N.N. Yashchenko,
S.V. Zhitar, E.G. Zinovjeva, A.N. Lyshchikov**

Scientific Supervisor – **N.N. Yashchenko**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov

The paper presents the results of determining the antioxidant capacity of Indian dietary supplements using the Leventhal method.

Keywords: dietary supplement, antioxidant capacity, Leventhal method

Одним из перспективных направлений фармации, медицины и химии является поиск и разработка средств, обладающих антиоксидантной активностью. Биологически активные добавки (БАД) на основе природного растительного сырья рекомендуется принимать при антиоксидантной терапии, в качестве поддерживающего средства при иммунодефиците, синдроме хронической усталости, аллергических состояниях, как

профилактическое средство для торможения в организме воспалительных процессов и т.д. Особую популярность получили индийские БАД ввиду их натурального состава. Целью данной работы является изучение антиоксидантной ёмкости БАД из Индии. В качестве объектов исследования выбраны порошок *Triphala Churna Divya* на основе амалаки, харитаки, бибхитаки и джем *Chyawanprash Patanjali* на основе амлы и шафрана. Антиоксидантную ёмкость оценивали по содержанию полифенолов в пересчете на галловую кислоту. Известно большое количество методов определения содержания полифенолов [1-5], из которых нами был выбран потенциометрический метод Левентала, включенный в Государственную фармакопею.

По результатам проведенных исследований установлено, что антиоксидантная емкость водных вытяжек БАД составляет ($53,175 \pm 0,005$) и ($125,475 \pm 0,005$) мг/100 г БАД для *Chyawanprash Patanjali* и *Triphala Churna Divya*, соответственно. Величина среднеквадратичного отклонения не превышала 5%.

Таким образом, сопоставление содержания полифенолов в различных БАД и их стандартизация относительно общеизвестных антиоксидантов (например, галловой кислоты) позволит назначить пациенту наиболее эффективный препарат для антиоксидантной терапии. Кроме того, систематический контроль качества БАД, в том числе по величине антиоксидантной емкости снизит появление фальсифицированной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Yaschenko N.N.* Determination of phenolic compounds in medicinal preparations by galvanostatic coulometry / N.N. Yaschenko, S.V. Zhitar, E.G. Zinovjeva // *Chimica Techno Acta*. 2021. Vol. 8, № 1. P. 1-3.
2. *Яценко Н.Н.* Тест-система для определения суммы фенольных соединений в кофе / Н.Н. Яценко, С.В. Житарь, Е.Г. Зиновьева // *Бутлеровские сообщения*. 2022. Т. 70, № 4. С. 89-95.
3. *Яценко Н.Н.* Разработка тест-системы для определения суммы фенольных соединений в лекарственном растительном сырье / Н.Н. Яценко, С.В.Житарь, Е.Г. Зиновьева // *Бутлеровские сообщения*. 2022. Т. 71, № 8. С. 106-111.
4. 2-Бензоил-1,1,3,3-тетрацианопропенид фенилдиазония как аналитический реагент для фотометрического определения флавоноидов / Н.Н. Яценко, И.Н. Бардасов, С.В. Житарь, А.Ю. Алексеева, С.В. Карпов, Е.Г. Зиновьева // *Вестник Башкирского университета*. 2022. Т. 27, № 1. С. 45-50.
5. *Яценко Н.Н.* УФ-определение фенолсодержащих соединений в индийских биологически активных добавках / Н.Н. Яценко, С.В. Житарь, Е.Г. Зиновьева // *Бутлеровские сообщения*. 2024. Т. 77, № 2. С. 112-116.

**РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА АЛКИЛИРОВАНИЯ
S,S-ДИОКСИДА 4,6-ДИФЕНИЛ-3,4-ДИГИДРО-
2H-ТИОПИРАН-3-КАРБОНИТРИЛА**

Р.Л. Баширов, М.В. Старостин, К.Л. Овчинников

Научный руководитель – **К.Л. Овчинников**, канд. хим. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Синтезирован 4,6-дифенил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-3-карбонитрил по реакции Дильса-Альдера, проведено его окисление до соответствующего сульфона. Осуществлена реакция алкилирования S,S-диоксида 4,6-дифенил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-3-карбонитрила 4-хлорфенацилбромидом с использованием диазабициклоундецена в качестве основания.

Ключевые слова: S,S-диоксид 4,6-дифенил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-3-карбонитрила, 4-хлорфенацилбромид, алкилирование, диазабициклоундецен

**DEVELOPMENT OF THE ALKYLATION PROCESS
S,S-DIOXIDE 4,6-DIPHENYL-3,4-DIHYDRO-
2H-THIOPIRAN-3-CARBONITRILE**

R.L. Bashirov, M.V. Starostin, K.L. Ovchinnikov

Scientific Supervisor – **K.L. Ovchinnikov**, Candidate of Chemical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

4,6-Diphenyl-3,4-dihydro-2H-thiopyran-3-carbonitrile was synthesized by the Diels-Alder reaction, and its oxidation was carried out to the corresponding sulfone. The alkylation reaction of S,S-dioxide 4,6-diphenyl-3,4-dihydro-2H-thiopyran-3-carbonitrile with 4-chlorophenacyl bromide using diazabicycloundecene as a base was carried out.

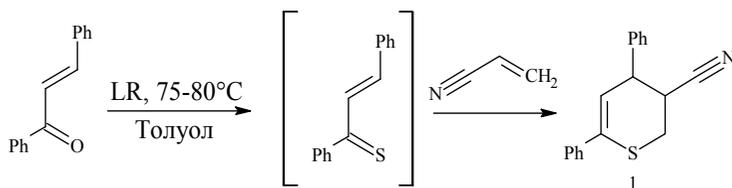
Keywords: S,S-dioxide 4,6-diphenyl-3,4-dihydro-2H-thiopyran-3-carbonitrile, 4-chlorophenacyl bromide, alkylation, diazabicycloundecene

Циклические сульфоны способны проявлять различные виды биологической активности [1], в связи с чем разработка методов синтеза ранее неизвестных представителей этого класса соединений имеет несомненный научный и практический интерес.

В связи со значимостью циклических сульфонов, актуальны исследования дальнейшей функционализации данных структур.

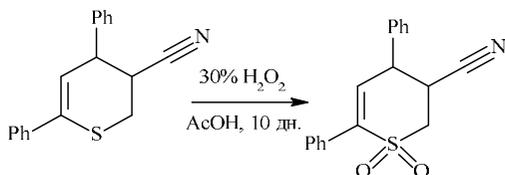
Целью данной работы была разработка методики алкилирования S,S-диоксида 4,6-дифенил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-3-карбонитрила 4-хлорфенацилбромидом в основной среде.

На первой стадии нами был получен исходный 4,6-дифенил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-3-карбонитрил **1** по методике одnoreакторного синтеза по гетерореакции Дильса-Альдера с использованием реактива Лавессона (LR) в качестве сульфидирующего агента [2].

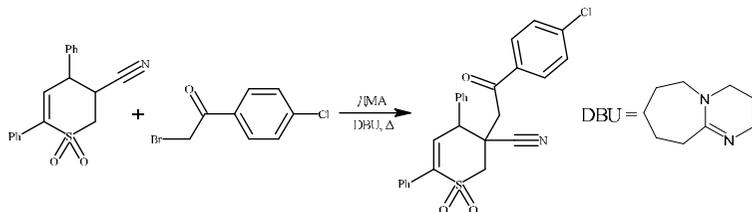


Выход продукта составил 64%.

На второй стадии применение перекиси водорода в качестве окисляющего агента позволило окислить 4,6-дифенил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-3-карбонитрил **1** до соответствующего сульфона [3]. Реакция проводилась с использованием 30% раствора перекиси водорода в десятикратном избытке в течение 10 дней.



Взаимодействие S,S-диоксида 4,6-дифенил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-3-карбонитрила с 4-хлорфенацилбромидом в присутствии диазбициклоундецена приводило к образованию алкильного производного.



Строение продукта подтверждено ИК- и ЯМР-спектроскопией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pat. № 2005032855 US / T. Kontani, J. Miyata, W. Hamaguchi, T. Kawano, A. Kamikawa, H. Suzuki, K. Sudo / Chem. Abstr., 2005. 142. 219152.
2. *Merkulova E.A.* A convenient synthesis of 3,4-dihydro-2*H*-thiopyran-2,3-dicarboxylic acid derivatives / E. A. Merkulova, A.V. Kolobov, K.L. Ovchinnikov // Rus. Chem. Bull., Int. Ed. 2019. Vol. 68, № 3. P. 606-609.
3. Oxidative addition of *N*-aminophthalimide to 3,4-dihydro-2*H*-thiopyrans, their *S*-oxides, and *S,S*-dioxides / E.A. Merkulova, A.V. Kolobov, M.A. Kuznetsov, D.V. Spiridonova, A.S. Pankova // Tetrahedron Letters. 2022. Vol. 94. 153715.

СИНТЕЗ ХАЛКОНОВ НА ОСНОВЕ ЗАМЕЩЕННЫХ 1-ГИДРОКСИИНДОЛОВ

Н.А. Богданова, М.С. Шалабанова, Ж.В. Чиркова

Научный руководитель – **Ж.В. Чиркова**, д-р хим. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

Разработан метод синтеза халконов на основе 2-замещенных 1-гидроксииндол-5,6-дикарбонилрилов.

Ключевые слова: 1-гидроксииндол-5,6-дикарбонилрилы, алкилирование, реакция Вильсмайера-Хаака, 1-метокси-3-формилиндол-5,6-дикарбонилрилы, ацетофеноны, халконы

SYNTHESIS OF CHALCONES BASE ON SUBSTITUTED 1-HYDROXYINDOLES

N.A. Bogdanova, M.S. Shalabanova, Zh.V. Chirkova

Scientific Supervisor – **Zh.V. Chirkova**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

General methods to access new chalcones base on 2-substituted 1-hydroxyindole-5,6-dicarbonitriles were developed.

Keywords: 1-hydroxyindole-5,6-dicarbonitriles, alkylation, Vilsmeier–Haack formylation, 3-formyl-1-methoxyindole-5,6-dicarbonitriles, acetophenones, chalcones

Синтез соединений с индольным циклом традиционно является объектом интенсивных исследований, что связано с наличием уникальных свойств у структур данного ряда. Замещенные *N*-гидроксииндолы входят в состав ряда природных биологически-активных соединений и фармакологических препаратов. В литературе немного данных о методах синтеза и химических трансформациях индолов, содержащих *N*-гидроксильный фрагмент, но наряду с этим, растёт интерес к практическому использованию этих соединений в качестве перспективных противоопухолевых препаратов, соединений с выраженной бактерицидной ак-

тивностью. Также к соединениям, проявляющим различные типы биологической активности, можно отнести халконы [1, 2], которые часто встречаются в природных соединениях. Интерес к синтезу такого типа соединений связан с легкостью их получения. Для такой реакции требуется всего лишь два компонента: ароматические альдегиды и ацетофеноны, конденсацию которых, как правило, проводят по классической реакции Кляйзена-Шмидта в присутствии оснований [3]. Поэтому при создании новых потенциально биологически активных соединений особый интерес представляют халконы, у которых один из фрагментов является индольный цикл.

Целью работы является разработка метода синтеза халконов на основе 1-гидроксииндолов.

Из литературы известно, что прямое формилирование 1-гидроксииндолов **1** [4] невозможно, так как в этом случае образуются в основном 3-хлориндолы [5]. На первой стадии проводили метилирование 1-гидроксильной группы соединений **1** йодистым метилом по известной методике [4] с получением соответствующих метоксипроизводных **2**. В отличие от гидроксильной группы индолов **1** метоксигруппа индолов **2** оказалась более устойчивой в условиях реакции Вильсмайера-Хаака, поэтому ее элиминирования не проходило, и в качестве основных продуктов были получены исключительно 3-формилиндолы **3** (схема 1).

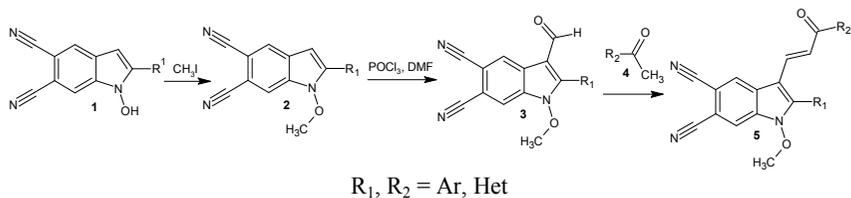


Схема 1

На последней стадии 3-формилиндолы **3** взаимодействовали с ароматическими и гетероциклическими ацетофенонами **4** в ледяной уксусной кислоте при использовании метан сульфоновой кислоты в качестве катализатора. Выбор кислотного катализ (раствор спиртовых щелочей) в данном случае неприемлем, поскольку может протекать частичный или полный гидролиз цианогрупп до соответствующего имида или дикарбоновой кислоты [6].

Строение всех синтезированных соединений подтверждено совокупностью данных ИК-, ЯМР-спектроскопий и масс-спектрометрии. Характерной особенностью спектров ЯМР ¹H соединений **4** являются боль-

шие значения констант спин-спинового взаимодействия протонов при двойной связи ($J = 15.8-16.1$ Гц), что указывает на образование *E*-изомерной формы этих соединений. На основании данных NOESY спектроскопии халконов **4**, установлено взаимное расположение атомов водорода в молекуле. По данным масс-спектрометрии основным направлением фрагментации является образование иона $[M-OCH_3]^+$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Singh P. Recent developments in biological activities of chalcones: A mini review / P. Singh, A. Anand, V. Kumar // Eur. J. Med. Chem. 2014. Vol. 85. P. 758-777.
2. Sasidharan R. Identification of Indole-Based Chalcones: Discovery of a Potent, Selective, and Reversible Class of MAO-B Inhibitors / R. Sasidharan, S.L. Manju, G. Uçar // Arch. Pharm. Chem. Life Sci. 2016. Vol. 349. P. 627-637.
3. A one-pot synthesis of indole-appended heterocycles as potent anti-inflammatory, analgesic, and CNS depressant agents / S.B. Somappa, J.S. Biradar, P. Rajesab [et al.] // Monatsh Chem. 2015. Vol. 146. P. 2067-2078.
4. Base-induced transformations of ortho-nitrobenzylketones: intramolecular displacement of nitro group versus nitro-nitrite rearrangement / S.I. Filimonov, Zh.V. Chirkova, I.G. Abramov [et al.] // Tetrahedron. 2012. Vol. 68. P. 5991-5997.
5. The C-3 chlorination of 2-aryl-1-hydroxyindoles / Zh.V. Chirkova, M.V. Kabanova, S.I. Filimonov [et al.] // Mendeleev Commun. 2017. Vol. 27. P. 498-499.
6. Metal-free and Pd(II)-promoted [2+3]-cycloadditions of a cyclic nitrone to phthalonitriles: syntheses of oxadiazolines as well as phthalamide – Pd(II) and dihydropyrrolyliminoisoindolinone– Pd(II) complexes with high catalytic activity in Suzuki–Miyaura cross-coupling reactions / J. Lasri, M.N. Kopylovich, M.F.C. Guedes da Silva, J. Charmier [et al.] // Chem. Eur. J. 2008. Vol. 14. P. 9312-9322.
7. Manley-King C.I. Inhibition of monoamine oxidase by C5-substituted phthalimide analogues / C.I. Manley-King, J.J. Bergh, J.P. Petzer // Bioorg. Med. Chem. 2011. Vol. 19. P. 4829-4840.
8. Transition metal-free 1,3-dimethylimidazolium hydrogen carbonate catalyzed hydration of organonitriles to amides / P.K. Verma, U. Sharma, M. Bala, N. Kumar [et al.] // RSC Adv. 2013. Vol. 3. P. 895-899.

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ
ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ
ЛАТЕКСОВ КАРБОКСИЛСОДЕРЖАЩИХ СОПОЛИМЕРОВ
В КАЧЕСТВЕ ГАСТРОРЕЗИСТЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ
ТАБЛЕТОК**

**К.В. Величко, И.С. Коротнева, И.А. Осколкова,
Н.О. Куликова**

Научный руководитель – **И.С. Коротнева**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье представлены основы синтеза латекса привитого сополимера диена и метакриловой кислоты, применённого для нанесения плёночных покрытий на твёрдые дозированные лекарственные формы. Изучены свойства нанесённых гастрорезистентных плёночных оболочек таблеток, содержащих модельную активную фармацевтическую субстанцию, в соответствии с Фармакопеей Российской Федерации. Проведённые исследования показывают, что предлагаемое плёночное покрытие способно обеспечить сохранение лекарственной формы в среде, имитирующей желудочный сок на протяжении 2-х часов испытания.

Ключевые слова: привитые сополимеры, латексы карбоксилсодержащих сополимеров, плёночные оболочки таблеток

**TECHNOLOGY FOR PRODUCTION AND APPLICATION
OF FILM-FORMING COMPOSITIONS BASED ON LATEXES
OF CARBOXYL-CONTAINING COPOLYMERS
AS GASTRO-RESISTANT COATINGS FOR TABLETS**

**K.V. Velichko, I.S. Korotneva, I.A. Oskolkova
N.O. Kulikova**

Scientific Supervisor – **I.S. Korotneva**, Candidate of Chemical
Sciences, Associate professor

Yaroslavl State Technical University

The article proposes a method for the synthesis of latex graft copolymer of diene and methacrylic acid, used for applying film coatings to solid dosage forms. The properties of applied gastro-resistant film coatings of tablets containing a model active pharmaceutical substance were studied in accordance with the Pharmacopoeia of the Russian Federation. The conducted studies show that the proposed film coating can

ensure the preservation of the dosage form in an environment simulating gastric juice for 2 hours of testing.

Keywords: graft copolymers, latexes of carboxyl-containing copolymers, film coatings of tablets

В работе предлагается метод синтеза привитого сополимера метакриловой кислоты методом затравочной эмульсионной полимеризации. Синтез латекса привитого сополимера проводился в два этапа, на первом из которых был синтезирован затравочный латекс полидиена полимеризацией в эмульсии. На втором этапе осуществлялась прививка мономеров на поверхность латексных частиц полидиена, составляющих ответвления от основной цепи макромолекулы. Реакция прививки мономерных звеньев может быть осуществлена за счет отрыва атома водорода в α -положении к двойной связи радикалом инициатора, присоединением радикала инициатора к двойной связи, отрывом атома водорода из цепи растущим полимерным радикалом, присоединением полимерного радикала к двойной связи [1]. Продукты, полученные в результате реакции, отличались количеством затравочного латекса и соотношением мономеров, взятых для реализации второго этапа синтеза, с целью получения латексов сополимеров с требуемыми свойствами. Кинетические зависимости выхода привитого и затравочного (со-) полимеров представлены на рис. 1.

Процесс прививки осложнён возможной гомополимеризацией метакриловой кислоты в водной фазе, благодаря её хорошей растворимости в воде. Для снижения вероятности гомополимеризации метакриловую кислоту перед введением в реакционную массу растворяли в диене. С целью увеличения выхода привитого сополимера процесс проводили в условиях “эмульгаторного голодания”.

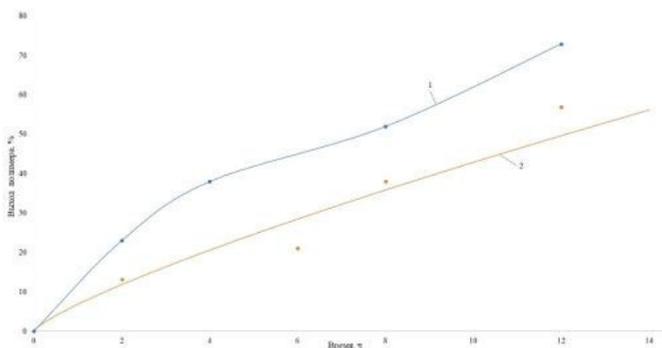


Рис. 1. Кинетическая зависимость выхода (со-)полимеров от времени реакции:

1 – для затравочного полимера; 2 – для привитого сополимера

Латексы апробированы в качестве плёнокообразователей для нанесения плёночных оболочек на таблетки. Таблетки-ядра, содержащие модельную активную фармацевтическую субстанцию, были изготовлены на роторно-таблеточной машине SLP-2 производства Shakti Pharmatech и покрыты плёночной оболочкой в полупромышленном коутере серии BGB-5F производства ZheJiang Xiaolun Pharmaceutical Machinery. Лекарственные формы были подвергнуты тесту «Растворение для твёрдых дозированных лекарственных форм» в соответствии с фармакопейной статьёй [2] в средах с различным рН (рис. 2).

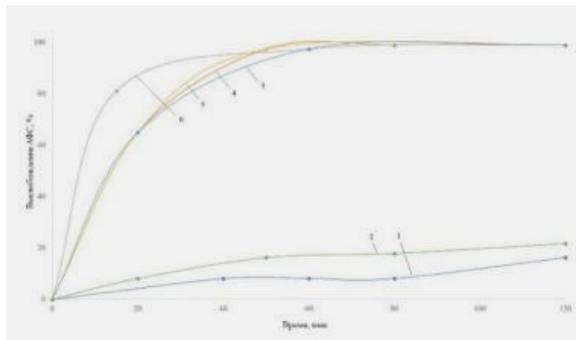


Рис. 2. Высвобождение активной субстанции из таблеток, покрытых плёночной оболочкой в средах с различным рН:

1 – рН = 1,0; 2 – рН = 7,2; 3 – рН = 7,5; 4 – рН = 8,0; 5 – рН = 8,5; 6 – рН = 9,0

Результаты теста на растворение показали устойчивость лекарственной формы в среде, имитирующей желудочный сок на протяжении двух часов испытания. Высвобождение активной субстанции из лекарственной формы в основном происходило в интервале рН 7,2-9,0, что соответствует кислотности среды в кишечнике человека. Установлено, что путём изменения соотношения мономеров в исходной шихте при синтезе латекса сополимера можно влиять на свойства плёночного покрытия, обеспечивая высвобождение активной субстанции в целевом отделе ЖКТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Получение, свойства привитых сополимеров и их применение в ударопрочных материалах // Химическая промышленность. Сер. Акрилаты и поливинилхлорид: Обзор информ. М.: НИИТЭХим, 1984. 31 с.
2. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIII изд. Ч.2. Общая фармакопейная статья 1.4.2.0014.15 «Растворение для твердых дозированных лекарственных форм». М.: Министерство здравоохранения РФ, 2015.

ИСПЫТАНИЯ ЛЕКАРСТВЕННОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ ФУРАЦИЛИНА

Ю.С. Груздева, Ю.Р. Юсифова, О.С. Горячева

Научный руководитель – **О.С. Горячева**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Представлены результаты исследования УФ-спектрометрии образца лекарственного препарата на основе фурацилина. Определена температура плавления исследуемого образца. Проведена качественная реакция с образованием окрашенной аци-соли. Осуществлен выбор условий количественного определения нитрофураля.

Ключевые слова: нитрофураля, фурацилин, температура плавления, подлинность, ультрафиолетовая спектрометрия

TESTS OF A DRUG BASED ON FURACILIN

Yu.S. Gruzdeva, Yu.R. Yusifova, O.S. Goryacheva

Scientific Supervisor – **O.S. Goryacheva**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

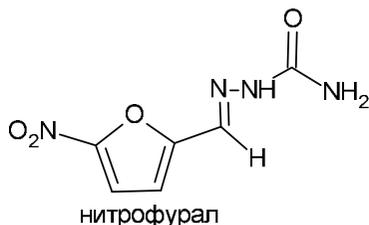
Yaroslavl State Technical University

The results of a UV-spectrometry study of a sample of a drug based on furacilin are presented. The melting point of the test sample was determined. A qualitative reaction was carried out with the formation of a colored acyl salt. The conditions for the quantitative determination of nitrofurural have been selected.

Keywords: nitrofurural, furacilinum, melting point, authenticity, ultraviolet spectrometry

Объектом исследования является фурацилин в твёрдой лекарственной форме (порошок). Вещество является антисептическим средством для наружного применения и относится к группе нитрофуранов. Используется как раствор для очищения и промывания ран, замедляет рост микроорганизмов. Также применяется для приготовления раствора, чтобы полоскать горло.

Цель настоящего исследования – анализ выбранных проб фурацилина и сравнение полученных результатов с показателями Государственной Фармакопеи.



Для испытания был взят образец фурацилина 20 мг в твёрдой лекарственной форме, купленный в сети аптек «Будь Здоров». Производителем является ООО «Самарская фармацевтическая фабрика».

Фурацилин представляет собой мелкокристаллический порошок жёлтого цвета. Плохо растворим в холодной воде (при нагревании растворимость повышается), мало растворим в спирте, растворим в щелочах, практически нерастворим в эфире.

Раствор имеет жёлтую или бесцветную окраску. При длительном хранении водные растворы теряют антимикробную активность [1].

Состав на 1 пакет-саше фурацилина 20 мг (табл. 1).

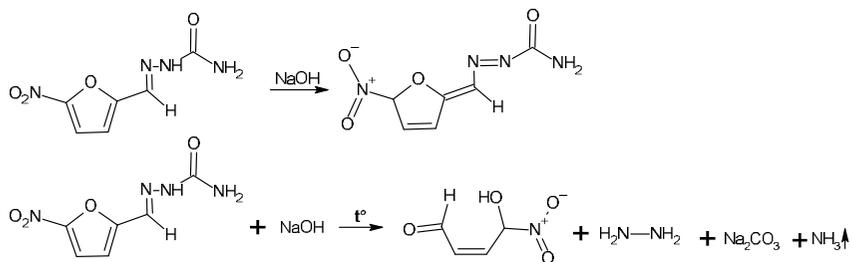
Таблица 1. Содержание сырья в 1 пакете-саше

Наименование сырья	Содержание	
Нитрофурацол	0,02 г	2,4%
Натрия хлорид	0,8 г	97,6%

Средняя масса одного пакета-саше: 0,82 г [2].

Определена температура плавления с использованием капиллярного способа. При проведении этого анализа образец нагревался со скоростью 1 °С в минуту после достижения 215 °С. Результаты исследования пробы – 224,5-229,0 °С, плавится с разложением. Нижнее значение не входит в диапазон 227-232 °С, который указан в источниках [1].

Была проведена качественная реакция: фурацилин растворяли в смеси воды и раствора 10%-го гидроксида натрия. В результате появилось оранжево-красное окрашивание. Затем полученный раствор нагревали, чувствовался слабый запах аммиака. Наблюдения соответствуют данным фармакопейной статьи [2]. Реакции протекают следующим образом:



Подлинность также подтверждают с помощью спектрофотометрии в ультрафиолетовой и видимой областях на приборе Specord M-40 (UV-VIS) в области 245 до 450 нм. Раствор сравнения – вода. При снятии спектра использовались кварцевые кюветы с толщиной 1 см. Спектр поглощения образца должен содержать минимум при 306 нм и максимумы при 260 и 375 нм. Отношение оптических плотностей A_{375}/A_{260} должно составлять 1,15-1,30 [2].

В мерную колбу объемом 250 см³ помещали навеску фурацилина 76,8 мг, растворяли в 30 см³ диметилформамида и доводили объем раствора до метки водой. Затем отбирали из этой колбы 5 мл полученного раствора, помещали в другую мерную колбу вместимостью 250 см³ и доводили объем раствора до метки водой.

Результаты УФ-спектрометрии представлены на рис. 1.

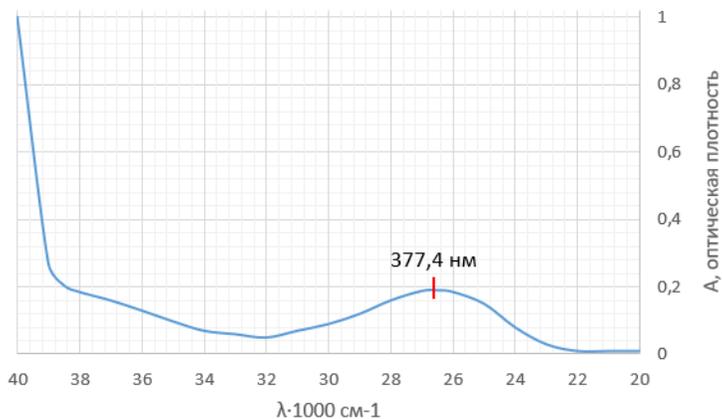


Рис. 1. Зависимость оптической плотности от длины волны образца №1

На спектре полученного раствора пиков не обнаружено. На спектре первоначального раствора имеется один пик с длиной волны равной 377,4 нм, или 26500 см^{-1} , что близко к одному из нужных значений. В начале спектра пиков не обнаружено, так как граница пропускания растворителя 37000 см^{-1} .

В мерную колбу вместимостью 250 см^3 помещали навеску фурацилина 75,3 мг и доводили водой до метки. Навеска хорошо растворилась. Результаты УФ-спектрометрии представлены на рис. 2.

В одном пакете-саше содержится 2,4% нитрофураля, тогда в навеске 75 мг фурацилина содержится 1,8 мг нитрофураля. Затем необходимо добавить воду в количестве 6 см^3 , а ДМФА $0,72\text{ см}^3$.

На 100 см^3 воды нужно взять 30 мг нитрофураля. Общая навеска составляет 1250 мг. ДМФА 12 см^3 .

В мерную колбу вместимостью 100 см^3 помещали навеску фурацилина 1249 мг, растворяли в 12 см^3 диметилформамида и доводили объем раствора до метки водой. Затем отбирали из этой колбы 1 мл полученного раствора, помещали в другую мерную колбу вместимостью 50 см^3 и доводили объем раствора до метки водой.

Результаты УФ-спектрометрии представлены на рис. 2.

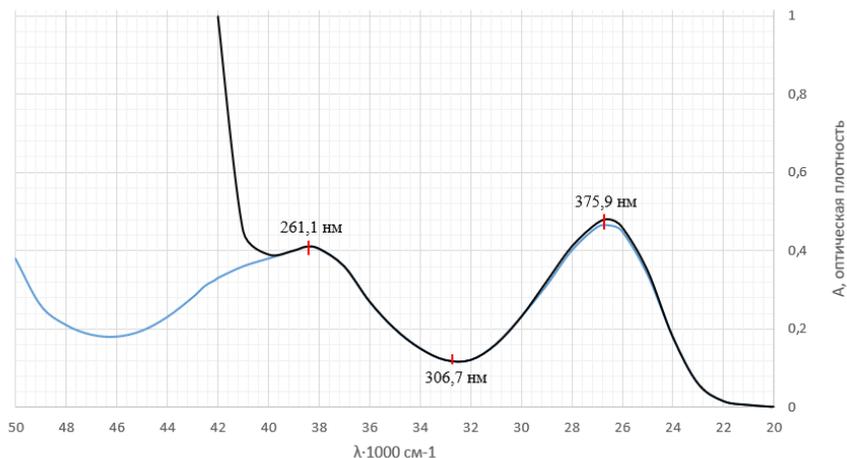


Рис. 2. Зависимость оптической плотности от длины волны:

1 – образец №2; 2 – образец №3

На спектре поглощения имеются минимум при 306,7 нм, или 32600 см^{-1} , и максимумы при 261,1 нм, или 38300 см^{-1} , и 375,9 нм, или 26600 см^{-1} , для обоих растворов. В Государственной Фармакопее допус-

кается отклонение экспериментальных данных от указанных в статье ± 1 нм при снятии спектра менее 400 нм. Отношение оптических плотностей для образца №2: $A_{375,9}/A_{261,1} = 0,465/0,41 = 1,13$; для образца №3: $A_{375,9}/A_{261,1} = 0,48/0,41 = 1,17$. В диапазон, соответствующий фармакопейной статье [2], попадает только образец №3.

Выбранные условия УФ-спектрометрии позволят нам далее количественно оценить содержание фурацилина в образце.

Анализ проведенных исследований показал, что в данном лекарственном препарате содержится фурацилин. Полученные данные подтверждают соответствие показателей качества образца требованиям соответствующей фармакопейной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кузнецова А.В.* Фармакопейный анализ производных фурана, пиррола, пиразола, имидазола, пиридина, хинолина: Учебное пособие для студентов 4-го курса специальности «Фармация». Пенза: Пензенский государственный университет, 2013. 120 с.
2. ФС.2.1.0148.18. Нитрофурацил // Фармакопейная статья. 2018. С. 4158-4162.

**ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ХИМЕРНОГО
МОНОКЛОНАЛЬНОГО АНТИТЕЛА МЫШИ/ЧЕЛОВЕКА,
СПОСОБНОГО СПЕЦИФИЧЕСКИ СВЯЗЫВАТЬ
АНТИГЕН CD20**

Д.Р. Дектярева, Е.С. Струкова, А.В. Комин

Научный руководитель – **А.В. Комин**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проведен анализ способов очистки белков при производстве лекарственных средств на основе моноклональных антител. Предложен способ очистки химерного моноклонального антитела мыши/человека, способного специфически связывать антиген CD20.

Ключевые слова: моноклональные антитела, белки, очистка моноклональных антител

**TECHNOLOGY FOR PURIFICATION OF A CHIMERIC
MOUSE/HUMAN MONOCLONAL ANTIBODY CAPABLE
OF SPECIFICALLY BINDING THE CD20 ANTIGEN**

D.R. Dektyareva, E.S. Strukova, A.V. Komin

Scientific Supervisor – **A.V. Komin**, Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Methods of protein purification in the production of drugs based on monoclonal antibodies have been analyzed. A method of purification of chimeric mouse/human monoclonal antibody capable of specific binding of CD20 antigen is proposed.

Keywords: monoclonal antibodies, proteins, monoclonal antibody purification

Моноклональные антитела – белки, произведенные идентичными иммунными клетками. Моноклональные антитела способны специфически связывать белки антигены. Поэтому моноклональные антитела широко используются в медицине, например в терапии неврологических [1], онкологических [2] заболеваний, болезней органов дыхания [3] и др. Получение моноклональных антител предполагает культивирование клеток-продуцентов [4]. В результате культивирования в биореакторе при произ-

водстве лекарственного препарата на основе моноклонального антитела культуральная жидкость содержит целевой белок и различные примеси, от которых требуется тщательная очистка. Утверждается, что очистка белков становится все более важной проблемой в биофармацевтической промышленности. Выделение очищаемого белка из смеси компонентов, вводимых для питания клеток, и побочных продуктов жизнедеятельности клеток до надлежащей чистоты, например, достаточной для использования в лекарственных препаратах для лечения людей, представляет значительные трудности для производителей биопрепаратов по ряду причин [5]. К таким причинам относят большой молекулярную массу, сложность пространственной структуры (например, молекула моноклонального антитела в 833 раза больше по размеру молекулы аспирина), уникальность производственного процесса и конкретных клеточных линий, высокая чувствительность к условиям хранения, высокие риски иммуногенности [5]. Свойства компонентов смеси близки, поэтому при выделении индивидуального белка требуется использование разнообразных методов и различных их сочетаний. Трудности получения чистого белка связаны также с высокой лабильностью белков и опасностью их денатурации, что сужает круг возможных методов выделения. Каждый разрабатываемый новый продукт требует новой или уточненной методики его очистки.

Целью настоящей работы являлась разработка основ технологии очистки химерного моноклонального антитела мыши/человека, способного специфически связывать антиген CD20.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- обзор литературы по способам очистки белков при производстве лекарственного препарата на основе моноклональных антител;
- выбор и обоснование способа очистки белка;
- составление аппаратурной схемы процесса очистки белка.

По результату анализа патентной и научной литературы сделаны выводы о том, что в большинстве случаев для очистки и выделения моноклональных антител предлагается трехстадийная хроматографическая очистка, содержащая стадии аффинной, ионообменной и гидрофобной или мультимодальной хроматографий. Также часто применяют дополнительные стадии очистки – вирусная инактивация, ультрафильтрация и/или диафильтрация. При расчете хроматографических параметров процесса очистки задаются продуктивностью и выходом целевого продукта. В свою очередь, эти показатели определяются параметрами стадии культивирования.

В результате проведенных исследований:

- выбран и обоснован способ очистки химерного моноклонального антитела мыши/человека, способного специфически связывать антиген CD20;

- рассчитаны хроматографические параметры очистки, исходя из объема реактора 2000 л;
- предложены хроматографические сорбенты;
- составлена аппаратурная схема процесса очистки химерного моноклонального антитела мыши/человека, способного специфически связывать антиген CD20.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Результаты 1 фазы клинического исследования моноклонального антитела против cd20 (bcd-132): фармакокинетика, фармакодинамика и безопасность / О.В. Бойко, А.Н. Бойко, П.А. Яковлев, А.В. Зинкина-Орихан, С.В. Котов, Ю.Н. Линькова, Л.Н. Прахова, Н.А. Тотолян, С.Г. Щур, Р.А. Иванов // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2019. Т. 119. № 10-2. С. 87-95.
2. Obtaining and investigating immunochemical properties of monoclonal antibodies against rctla-4 protein / Zh.B. Adish, M. Nurtleu, K.A. Tursunov, K.N. Mukantayev, Y.M. Ramankulov, K.K. Mukanov // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия: Биологические науки. 2023. № 1 (142). С. 57-67.
3. *Передельская М.Ю.* Препараты моноклональных антител – помощь врачу в лечении пациентов с тяжелой бронхиальной астмой / М.Ю. Передельская, Н.М. Ненашева, Ю.А. Передельский // Астма и аллергия. 2023. № 1. С. 20-24.
4. *Будчанов Ю.И.* Моноклональные антитела: от создания до клинического применения // Клиническая онкогематология. 2016. Т. 9, № 3. С. 237-244.
5. Пат. 013504 ЕА, В1. Method for purifying proteins.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОЙ ЛАЗУРИ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ СОДЕРЖАЩЕЙ РАЗЛИЧНЫЕ ИОНЫ

П.И. Душенкова, Е.А. Индейкин

Научный руководитель – **Е.А. Индейкин**, канд. хим. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается синтез чистой железной лазури и железной лазури, содержащей ионы или кальция, или магния, или цинка. Полученные образцы исследованы на возможность замены чистой железной лазури на модифицированные в качестве антидотов против ионов тяжелых металлов.

Ключевые слова: железная лазурь, синтез, ионы кальция, ионы магния, ионы цинка, ионообменные свойства

SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF PROPETIES OF PRUSSIAN BLUE FOR PHARMACEUTICAL PURPOSES CONTAINING VARIOUS IONS

P.I. Dushenkova, E.A. Indeikin

Scientific Supervisor – **E.A. Indeikin**, Candidate of Chemical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

The synthesis of pure prussian blue and prussian blue containing ions of either calcium, magnesium, or zinc is considered. The obtained samples were examined for the possibility of replacing pure prussian blue with modified ones as antidotes against heavy metal ions.

Keywords: prussian blue, synthesis, ions of calcium, ions of magnesium, ions of zinc, ion-changing properties

Железная лазурь (ЖЛ) (берлинская лазурь, турнбулева синь, прусский синий, парижская лазурь, прусская лазурь, гамбургская синь, нейблау, милори) представляет собой смешанный ферроцианид железа и щелочного металла (калия, натрия) или аммония. Химический состав лазури

зависит от условий синтеза и может быть выражен формулой: $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot x\text{Me}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где $x = 0,3-0,8$; $n = 12-24$; Me – K. Возможно, открытие железной лазури произошло в Берлине, где красильный мастер Дисбах создал ее в 1704 году [1].

Нерастворимая берлинская лазурь является хорошим адсорбентом для использования в качестве антидота при отравлении ионами тяжелых металлов, таких как цезия, таллия, свинца. Также она обладает противораковыми и антибактериальными свойствами, может быть использована в качестве контрастного вещества в фотоакустической и магнитно-резонансной томографии (МРТ) и для исследования онкологических заболеваний [2].

Целью данной работы является синтез и исследование свойств железной лазури для фармацевтических целей содержащей различные ионы. В качестве объектов изучения было синтезировано четыре образца железной лазури разных составов: чистая железная лазурь, ЖЛ с ионами кальция, ЖЛ с ионами магния и ЖЛ с ионами цинка.

Кальций, магний и цинк – это макроэлементы, играющие важную роль в многочисленных биохимических процессах. Кальций, в особенности, играет ключевую роль во всех видах обмена веществ – белковом, минеральном, жировом, углеводном и энергетическом. Магний, с другой стороны, является необходимым электролитом организма и одним из основных катионов, присутствующих внутри клеток.

Как универсальный регулятор биохимических и физиологических процессов, магний принимает участие в энергетическом, пластическом и электролитном обмене. Цинк, в свою очередь, является единственным металлом, присутствующим в каждом классе ферментов, и никаким другим металлом его нельзя заменить. Цинк играет важную роль в синтезе белков и нуклеиновых кислот [3]. Поэтому, внедряя ионы этих металлов в железную лазурь, повышается ее полезность и эффективность как фармацевтического препарата.

Исследование осуществлялось с использованием рН-метра-милливольтметра. По всем полученным результатам наблюдается более быстрая реакция поглощения ионов сложных металлов у ЖЛ содержащей ионы кальция, магния или цинка (рис. 1, 2).

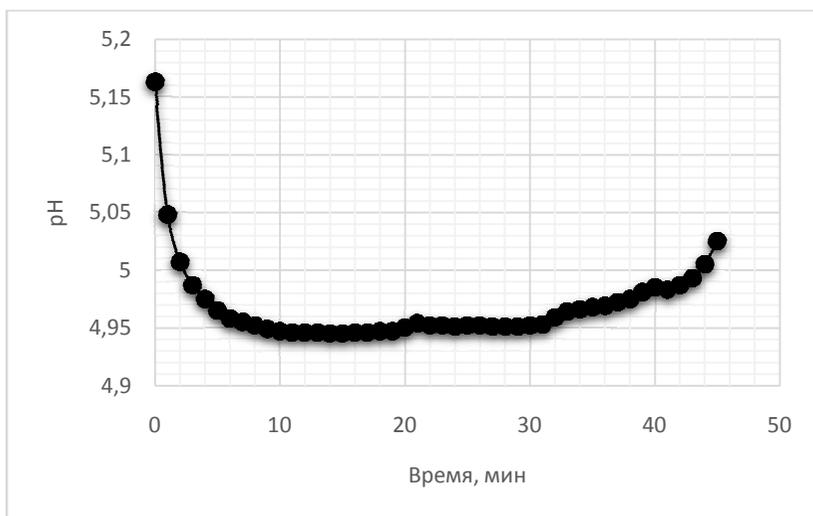


Рис. 1. Изменение pH раствора $Pb(NO_3)_2$ при введении железной лазури во времени

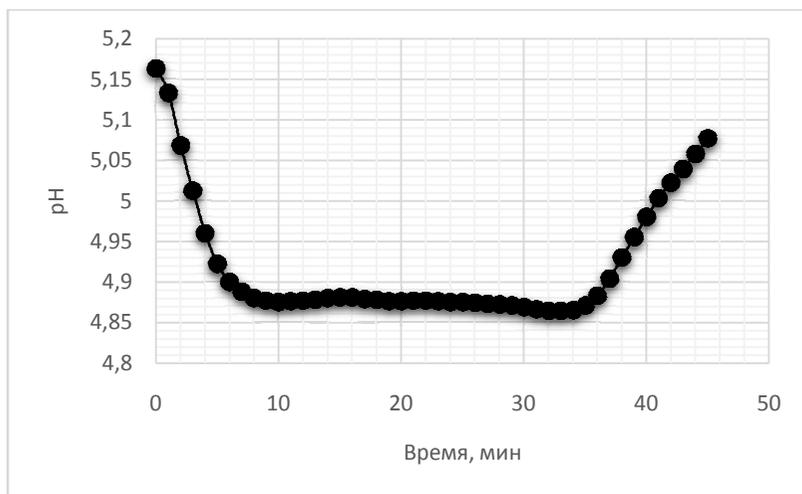


Рис. 2. Изменение pH раствора $Pb(NO_3)_2$ при введении железной лазури, содержащей ионы магния во времени

Таким образом поглощение ионов стронция модифицированной лазурью происходит быстрее в среднем в 19,3 раза, а поглощение ионов свинца – в 1,2 раза, чем железной лазурью в чистом виде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Индейкин Е.А.* Железная лазурь // Большая российская энциклопедия. Т. 9. М., 2007. С. 754.
2. *Busquets M.A.* Prussian blue nanoparticles: synthesis, surface modification, and biomedical applications / M.A. Busquets, J. Estelrich // *Drug Discov Today*. 2020. Vol. 25, № 8. P. 1431-1443.
3. *Федосеенко М.В.* Биологическая роль магния, кальция и цинка в регуляции функций и развитии заболеваний пищеварительной системы у детей / М.В. Федосеенко, Р.Р. Шиляев, О.А. Громова [и др.] // *ВСП*. 2003. Т. 2, № 6. С. 67-73.

РАЗРАБОТКА СЕЛЕКТИВНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА (2*R**,4*R**,6'*R**)-СПИРОХРОМАН-2,4'-ПИРИМИДИНОВ

**А.С. Карандеева, А.М. Урядова, С.И. Филимонов,
М.В. Кабанова**

Научный руководитель – **С.И. Филимонов**, д-р хим. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

*Исследована реакция конденсации 6-стирил-4-арилдигидропириимидин-2-онов с резорцином в присутствии различных кислот Бренстеда и Льюиса. Установлена структура преимущественно образующегося (2*R**,4*R**,6'*R**)- диастереомера, строение которого доказано с помощью двумерной спектроскопии и РСА.*

Ключевые слова: реакция конденсации, кислотный катализ, резорцин, замещенные спирохроман-2,4'-пириимидины

DEVELOPMENT OF A SELECTIVE SYNTHESIS METHOD FOR SUBSTITUTED (2*R**,4*R**,6'*R**)-SPIROCHROMAN-2,4'- PYRIMIDINES

**A.S. Karandeeva, A.M. Uryadova, S.I. Filimonov,
M.V. Kabanova**

Scientific Supervisor – **S.I. Filimonov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

*The condensation reaction of 6-styryl-4-aryldihydropyrimidin-2-ones with resorcinol in the presence of various Brønsted and Lewis acids was investigated. The structure of the predominantly formed (2*R**,4*R**,6'*R**) diastereomer was determined by 2D NMR spectroscopy and X-ray diffraction analysis.*

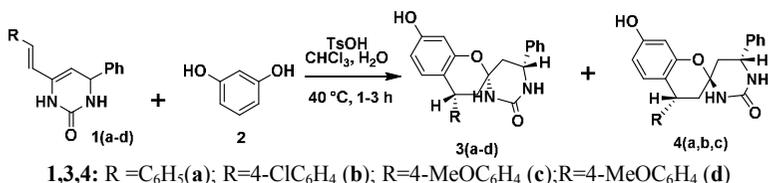
Keywords: condensation reaction, acid catalysis, resorcinol, substituted spirochroman-2,4'-pyrimidines

Спирохромы, как конденсированные гетероциклические системы, представляют значимый интерес, в частности они могут выступать в качестве фармацевтических препаратов широкого спектра действия, например, противоопухолевых и антибактериальных [1,2,3]. Поэтому циклизация известных 6-стирил-4-арилдигидропириимидин-2-онов [4] может

привести к более выраженному проявлению биологических свойств у полученных в результате замещенных спирохроман-2,4'-пиримидинов.

Целью данной работы является разработка метода синтеза новых замещенных(2*R**,4*R**,6'*R**)-спирохроман-2,4'-пиримидинов.

Для этого была проведена кислотнo-катализируемая конденсация замещенных 6-стирил-4-арилдигидропиримидин-2-онов **1(a-d)** с резорцином **2**.



В качестве кислотных катализаторов Бренстеда и Льюиса применялись: лимонная кислота; HCl; L-пролин; HCl + L-пролин; TsOH; BF₃*Et₂O; CH₃SO₃H; H₂SO₄. Однако в присутствии их реакция проходила не селективно и часто сопровождалась значительным осмолением реакционной массы. Наилучший выход продуктов реакции (до 58%) был достигнут при катализе TsOH в хлороформе с водой и нагревании при 40 °C в течение 1-3 часов. В результате было зафиксировано, что первоначально с низким выходом при проведении реакции в течение 1 часа получался диастереомер **3**, а при увеличении времени до 3 часов выделялась смесь диастереомеров **3/4** в соотношениях до 1:1, которую удалось разделить путем дробной кристаллизации в этилацетате.

Строение синтезированных соединений **3** установлено на основании совокупности данных ИК-, ЯМР-спектроскопии (¹H, ¹³C, NOESY) и масс-спектрометрии, а структура диастереомера **3b** была определена на основании данных PCA.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Synthesis and pharmacological characterization of mitochondrial KATP channel openers with enhanced mitochondriotropic effects / L. Testai, S. Sestito, A. Martelli [et al.] // *Bioorg. Chem.* 2021. Vol. 107. P. 104572.
2. A brief overview on recent advances in spiro [chromane-2,4'-piperidine]-4(3*H*)-one-functionalized compounds in medicinal chemistry research / N.G. Ghatpande, J.S. Jadhav, R.V. Kaproormath [et al.] // *Bioorg. Med. Chem.* 2020. Vol. 28, № 23. P. 115813.
3. A review of coumarin derivatives having different biological activities / A. Singh, D. Dwivedi, B. Fatima [et al.] // *Eur. Chem. Bull.* 2023. Vol. 12, № 5. P. 1961-1985.
4. *Shutalev A.D.* Simple synthesis of 4-aryl-6-styryl-1,2,3,4-tetrahydropyrimidin-2-ones by the alkaline hydrolysis of Biginelli compounds / Shutalev A.D., Aksionov A.N. // *Mend. Commun.* 2005. Vol. 2, № 15. P. 73-75.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ БИОРЕАКТОРА НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ КЛЕТОК СНО В ПРОЦЕССЕ ИХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

**Е.В. Коньшева, Д.Р. Дектярева, Е.С. Струкова,
А.В. Комин**

Научный руководитель – **А.В. Комин**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проведено сравнительное исследование процесса культивирования клеточной линии СНО в глубинном и волновом биореакторах.

Ключевые слова: культивирование, масштабирование, биореактор, клеточная линия СНО

INFLUENCE OF BIOREACTOR DESIGN ON THE VIABILITY OF CHO CELLS IN THE PROCESS OF THEIR CULTIVATION

E.V. Konysheva, D.R. Dektyareva, E.S. Strukova, A.V. Komin

Scientific Supervisor – **A.V. Komin**, Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

A comparative study of the process of cultivation of CHO cell line in deep and wave bioreactors was carried out.

Keywords: cultivation, scale-up, bioreactor, CHO cell line

Культуры клеток широко используются в различных областях биологии и медицины, например в качестве моделей для изучения действия загрязняющих веществ и лекарств [1, 2], для получения терапевтических белков [3]. Для получения терапевтических белков широко используют клетки СНО – клетки яичника китайского хомячка. Клеточная линия яичника китайского хомячка (СНО) используются для получения рекомбинантных терапевтических препаратов и применяются для производства порядка 70% всех рекомбинантных биофармацевтических белков и моноклональных антител, утвержденных с 2016 года [4]. Клетки СНО

обычно используются в промышленности, поскольку эти клеточные линии легко трансфицируются, адаптированы для работы в коммерческих масштабах производства, имеют быстрые темпы роста и могут производить совместимые с человеком посттрансляционные модификации.

За последние годы достигнуты значительные результаты в области разработки клеточных линий, сред и процессов [5]. Многие из этих достижений имеют коммерческую ценность для компаний-производителей, клетки СНО, а также среды и условия культивирования и масштабирования являются коммерческой тайной компаний. Академические исследования часто не имеют доступа к высокопроизводительным клеточным линиям, передовым технологиям, являющиеся ноу-хау компаний, что отрицательно сказывается на результатах и их практической значимости. Необходимо отметить и то, что студенты, выполняющие исследования в ВУЗах, не имея доступа к реализуемым на производствах передовым технологиям не получают необходимого опыта работы с клетками, способными их культивирования и масштабирования, что негативно сказывается на подготовке кадров для отрасли. Одним из преимуществ настоящей работы является то, что экспериментальные исследования проведены на базе современного промышленного биотехнологического предприятия, специализирующегося на разработках и производстве лекарств. Технология производственного процесса отрабатывается поэтапно: в лабораторных, пилотных (опытно-промышленных) и промышленных установках. Чаще встречаются биореактора с объемами 0,5-100 л (лабораторные), 100-5000 л (пилотные) и 5000-1000000 л и более (промышленные). На каждом этапе увеличения масштаба процесса - масштабном переходе масштабировании биотехнологического процесса - решаются конкретные задачи отработки налаживания производства и его оптимизации. После получения лабораторной технологи суспензионного культивирования клеток ее следует отмасштабировать для переноса процесса на производственные мощности. Масштабирование – это воспроизведение результатов, полученных на оборудовании одного размера или одной конструкции, при проведении того же процесса в биореакторах другого (обычно большего) размера или другой конструкции. На этапе культивирования в промежуточных биореакторах последние различаются конструкционными особенностями. Различают волновые и глубинные биореакторы. Их конструкционные особенности имеют свои преимущества и недостатки, которые могут отражаться на биотехнологическом процессе культивирования клеточных линий.

Цель настоящей работы заключалась в подборе промежуточного биореактора для адаптации и масштабирования процессов клеточной линии СНО.

Для достижения поставленной цели оценено влияние конструктивных особенностей биореакторов в рамках жизнеспособности клеточной линии СНО.

Для сравнительного анализа были взяты два вида биореакторов – глубинный и волновой с рабочими объемами 20 л и 200 л.

В работе проведено культивирование трех серий клеточной линии в волновом и глубинном биореакторах, сохраняя параметры культивирования. В процессе культивирования задавали и контролировали следующие параметры: общий объем клеточной культуры (л); температура культивирования (°C); угол наклона; частота качания (кач/мин); подача воздуха (л/мин); подача CO₂ (л/мин); скорость перемешивания (об/мин); pH культуральной жидкости; время культивирования; финальная концентрация клеток (млн/мл); посевная концентрация клеток (млн/мл); жизнеспособность (%). Исследования жизнеспособности клеток СНО показали, что этот показатель несколько выше для волнового биореактора. Однако жизнеспособность клеток как в волновом, так и глубинном реакторе отличается незначительно, что позволяет сделать вывод о том, что культивирование клеточной линии СНО можно осуществлять и в том и другом реакторах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Piperine as a potential anti-cancer agent: a review on preclinical studies / A. Manayi, S.M. Nabavi, W.N. Setzer, S. Jafari // *Curr. Med. Chem.* 2018. Vol. 25. P. 4918. URL: <https://doi.org/10.2174/0929867324666170523120656>.
2. Animal and model systems for studying cystic fibrosis / B.H. Rosen M. Chanson, L.R. Gawenis, J. Liu, A. Sofoluwe, A. Zoso, J.F. Engelhardt // *J. Cyst. Fibros.* 2018. Vol. 17. P. 28-34. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jcf.2017.09.001>.
3. Разработка процесса культивирования клеточной линии продуцента СНО для получения терапевтических белков. Начальная стадия: адаптация к бессывороточному суспензионному культивированию и биореакторная инокуляция / И. Кириллова, Т. Карягина, Д. Павленко, Н. Орехова, Д. Баирамшвили // *Биофармацевтический журнал.* 2010. Т. 2, № 6. С. 25-28.
4. Development of therapeutic antibodies for the treatment of diseases / R.M. Lu, Y.C. Hwang, I.J. Liu, C.C. Lee, H.Z. Tsai, H.J. Li, H.C. Wu // *Journal of Biomedical Science.* 2020. 27(1). P. 1-30. DOI: doi.org/10.1186/sl2929-019-0592-z.
5. *Kelley B.* Industrialization of mAb production technology // *The bioprocessing industry at a crossroads.* mAbs. 2009. Т. 1, № 5. P. 443-452. DOI: 10.4161/mabs.1.5.9448.

ПЕРВИЧНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФУРАНОКУМАРИНОВ

К.А. Курацапова, А.Е. Солнцева, А.В. Павлов

Научный руководитель – **А.В. Павлов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

*Известно, что борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) является неиссякаемым источником фуранокумаринов для нужд фармации. Показано, что идентификация фуранокумаринов (бергаптенов и ксантоксенов) с использованием универсального монохроматора УМ-2 с использованием ртутной лампы ДРШ-250 в видимом диапазоне ультрафиолетового излучения в проходящем свете не возможна. Тем не менее, используя результаты спектральных измерений, можно определить в источнике фуранокумаринов присутствие хлорофилла β и терпенов, дать оценку качества источника фуранокумаринов.*

Ключевые слова: фуранокумарины, универсальный монохроматор УМ-2, примеси в фуранокумарилах, борщевик Сосновского

PRIMARY ASSESSMENT OF THE QUALITY OF PLANT RAW MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF FURANOCUMARINS

K.A. Kuratsapova, A.E. Solntseva, A.V. Pavlov

Scientific Supervisor – **A.V. Pavlov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

*It is known that Sosnowsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden) is an inexhaustible source of furanocoumarins for pharmaceutical needs. It has been shown that the identification of furanocoumarins (bergaptenes and xanthoxenes) using a universal monochromator UM-2 using a mercury lamp DRSh-250 in the visible range of ultraviolet radiation in transmitted light is not possible. However, using the results of spectral measurements, it is possible to determine the presence of chlorophyll β and terpenes in the source of furanocoumarins, and to assess the quality of the source of furanocoumarins.*

Keywords: furanocoumarins, universal monochromator UM-2, impurities in furanocoumarins, Sosnowsky's hogweed

В России борщевик Сосновского признан вредным специальным интрадунцентом с фототоксическими свойствами [1]. Однако это растение может служить неиссякаемым источником биологически активных веществ – фуранокумаринов, обладающих фотосенсибилизирующими свойствами. Другим источником сырья для промышленного производства фуранокумаринов считаются плоды Амми большой (*Ammi majus L.*), в которых содержится около 2% фуранокумаринов с ярко выраженным фотосенсибилизирующим эффектом [2]. Но Амми большая уступает борщевiku Сосновского по массовому содержанию фуранокумаринов, и она в диком виде встречается только в условиях теплого климата, поэтому в других регионах она требует культивирования.

Известно, что фуранокумарины линейной формы молекул (производные псоралена) имеют высшую степень токсичности по сравнению с угловатой формой молекул (производные ангелицина). Доказано, что линейные фуранокумарины псораленового типа, такие как ксантотоксин и бергаптен, проявляют более сильные фотосенсибилизирующие эффекты из всего перечня растительных фуранокумаринов, и именно они являются источником лекарственного растительного сырья, пригодного для производства фотосенсибилизаторов для лечения кожных заболеваний ультрафиолетовым светом.

В соке борщевика Сосновского, отобранного из стеблей в период цветения, преобладают бергаптен и ксантоксины. Применяя способы регулирования соотношения бергаптен и ксантоксинов в соке этого растения, можно получать доступное сырье для фармацевтической промышленности с приоритетным содержанием того или иного фуранокумарина [3].

Существующие способы определения фуранокумаринов осуществляются с использованием колоночной и тонкослойной хроматографии. Для идентификации кумаринов и фуранокумаринов применяется метод газовой хромато-масс-спектрометрии. Известен анализ бергаптен и ксантоксинов с использованием высокоэффективного жидкостного хроматографического анализа [4]. Все вышеперечисленные методы требуют специальной препаративной подготовки исходного сырья и использования специальных дорогостоящих приборов и оборудования для разделения изучаемых веществ.

В данной работе рассмотрена возможность идентификации бергаптен и ксантоксинов с использованием универсального монохроматора УМ-2 в видимом диапазоне ультрафиолетового излучения в проходящем свете. В качестве объектов исследования были выбраны пленки, образовавшиеся за счет испарения хлороформа с ксантоксинами и бергаптенами и растворимых в хлороформе компонентов хлорофилла β и терпенов.

Универсальный монохроматор УМ-2 предназначены для проведения исследований излучения (поглощения) электромагнитных волн атомами или молекулами. Для проведения исследований осуществлялась градуировка монохроматора с использованием ртутной лампы ДРШ-250 для осуществления сопоставления значение длины волны λ монохроматического света на выходе из монохроматора с рабочим углом φ прибора.

По данным спектрофотометрии и тонкослойной хроматографии [5] большинство производных псоралена имеют сильные полосы поглощения в диапазоне 200-350 нм. На рис. 1 представлены результаты спектральных измерений растительного сырья на основе ксантоксинов и бергаптена.

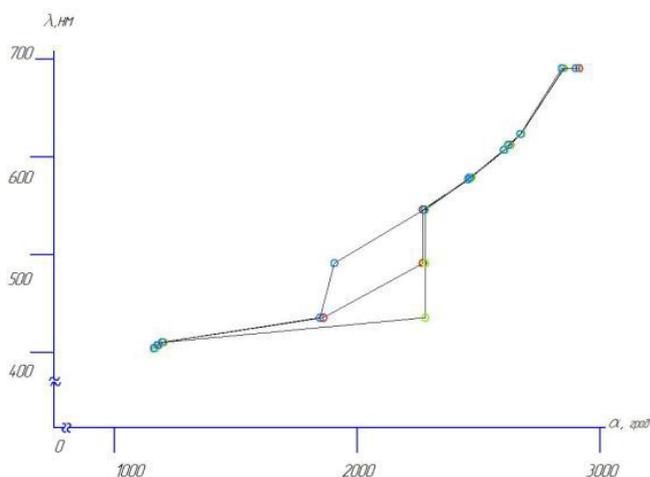


Рис. 1. Результаты спектральных измерений растительного сырья на основе ксантоксинов и бергаптенев

В видимом диапазоне ультрафиолетового излучения в проходящем свете (см. рис.1) можно выделить области спектра, приходящиеся на синюю или сине-фиолетовую области спектра паров ртути. В этой области спектра длины волны λ от 404 до 435 нм можно идентифицировать присутствие компонентов хлорофилла β и терпенов, которые являются примесями источников лекарственного растительного сырья на основе ксантоксинов и бергаптенев.

Предварительная обработка сока борщевика Сосновского 6%-ным яблочным уксусом (зеленая линия) приводит к росту ксантоксинов и разрушению хлорофилла β , то есть к частичному обесцвечиванию сока. Из рис. 1 следует, что в исходном соке борщевика Сосновского в результате

спектральных измерений наблюдается максимум (синяя линия) в диапазоне от 460 до 480 нм, характеризующий присутствие компонентов хлорофилла β и терпенов

Таким образом, результаты исследования показали, что идентификация фуранокумаринов (бергаптенов и ксантоксинов) с использованием универсального монохроматора УМ-2 в видимом диапазоне ультрафиолетового излучения в проходящем свете не возможна. Тем не менее, используя результаты спектральных измерений, можно определить в источнике фуранокумаринов присутствие хлорофилла β и терпенов, дать оценку качества источника фуранокумаринов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борщевик Сосновского и фотохимический дерматит / В.П. Куценко, Д.Д. Ковалева, Н.Р. Миронова, С.С. Леденцова, Е.И. Безвуляк, П.В. Селиверстов // Медицинская сестра. 2022. 24(3). Р. 19-22. DOI: <https://doi.org/10.29296/25879979-2022-03-03>
2. Bartnik M. Isolation of methoxyfuranocoumarins from *Ammi majus* by centrifugal partition chromatography / M. Bartnik, A.K. Mazurek // J. Chromatogr. Sci. 2016. 54 (1). Р. 10-6. DOI: [10.1093/chromsci/bmv098](https://doi.org/10.1093/chromsci/bmv098).
3. Павлов А.В. Окислительный стресс борщевика Сосновского как средство локального ограничения его распространения // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. Пермь, 2023. № 4. С. 62–75. DOI: [10.15593/2224-9400/2023.4.05](https://doi.org/10.15593/2224-9400/2023.4.05).
4. Vandermolen K.M. Rapid quantitation of furanocoumarins and flavonoids in grapefruit juice using ultra-performance liquid chromatography / K.M. Vandermolen, N.B. Cech, M.F. Paine et al // Phytochem. Anal. 2013. 24. Р. 654–60. DOI: [10.1002/pca.2449](https://doi.org/10.1002/pca.2449).
5. Качественный и количественный анализ основных производных псоралена сока борщевика Сосновского / В.П. Агеев, В.И. Шляпкина, О.А. Куликов, А.В. Заборовский, Л.А. Тарарина // Фармация, 2022. Т. 71, № 3. С. 10-17 DOI: <https://doi.org/10.29296/25419218-2022-03-02>.

**СИНТЕЗ 1-ФЕНИЛ-3-(6-ФЕНИЛ-2H-ТИОПИРАН-3-ИЛ)ПРОП-2-ЕН-1-ОНА – ПЕРСПЕКТИВНОГО СЫРЬЯ
ДЛЯ ФАРМПРЕПАРАТОВ**

**Е.В. Миронов, И.Д. Карпов, К.Л. Овчинников,
В.В. Плахтинский**

Научный руководитель – **В.В. Плахтинский**, д-р хим. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

В данной работе рассматривается одnoreакторный синтез 1-фенил-3-(6-фенил-2H-тиопиран-3-ил)проп-2-ен-1-она, включающий получение 6-арил-2H-тиопиран-3-карбальдегида с его последующей конденсацией с ацетофеноном.

***Ключевые слова:** синтез 2H-тиопиранов, тионирование енаминонов, гетерореакция Дильса-Альдера, одnoreакторный синтез*

**SYNTHESIS OF 1-PHENYL-3-(6-PHENYL-2H-THIOPYRAN-3-
YL)PROP-2-EN-1-ONE IS A PROMISING RAW MATERIAL
FOR PHARMACEUTICALS**

**E.V. Mironov, I.D. Karpov, K.L. Ovchinnikov,
V.V. Plakhtinsky**

Scientific Supervisor – **V.V. Plakhtinskii**, Doctor of Chemical Sciences, Professor

Yaroslavl State Technical University

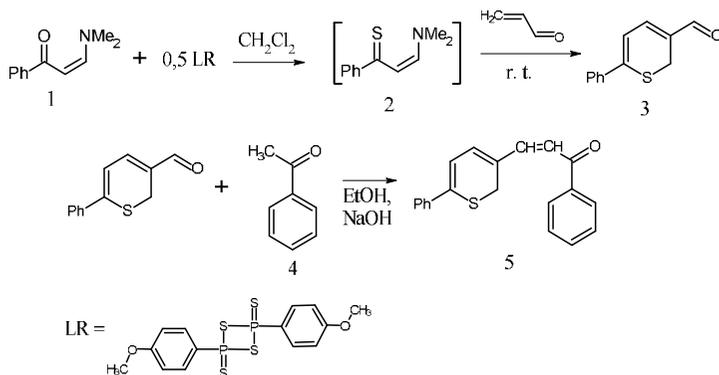
This paper discusses the single-reactor synthesis of 1-phenyl-3-(6-phenyl-2H-thiopyran-3-yl)prop-2-en-1-one, including the production of 6-aryl-2H-thiopyran-3-carbaldehyde with its subsequent condensation with acetophenone.

***Keywords:** synthesis of 2H-thiopyrans, thionation of enaminoes, hetero-Diels-Alder reaction, one-pot synthesis*

Среди гетероциклических соединений с атомом серы производные 2H-тиопирана привлекли особое внимание, поскольку они представляют собой основные звенья многих природных соединений, обладающих фунгицидной и лекарственной активностью [1].

Недавно нами был разработан эффективный метод синтеза 2*H*-тиопиранов на основе енамин-3-онов [2] и успешно были синтезированы новые представители 6-арил-2*H*-тиопиран-3-карбальдегидов с хорошим выходом [3]. В данной работе нами была показана возможность введения полученного 6-арил-2*H*-тиопиран-3-карбальдегида без его выделения в дальнейшие реакции.

Нами был разработан одnoreакторный синтез (3- глиоксилиденметил)-2*H*-тиопиранов, позволяющий получать ранее не описанные продукты без выделения промежуточных тиокетона **2** и альдегида **3**, введением альдегида в реакцию альдольно-кетоновой конденсации с ацетофеноном **4** при катализе гидроксидом натрия в среде этанола. В результате целевой продукт **5** удалось выделить без применения препаративной хроматографии, выделение сводилось к простому фильтрованию. Выход продукта составил 24%.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mouradzegun A. Improved intermolecular hydride transfer using task-specific ionic liquid: a reasonable and environmentally benign approach for the synthesis of bioactive 2*H*-thiopyran derivatives / A. Mouradzegun, Z. Najafi, S. Elahi // Journal of Sulfur Chemistry. 2015. Vol. 36, № 6. P. 624-629.
2. Карпов И.Д. Одnoreакторный синтез 2*H*-тиопиранов из енамин-3-онов / И.Д. Карпов, К.Л. Овчинников, А.В. Колобов // Известия Академии наук. Серия химическая. 2023. Т. 72, № 5. С. 1279-1282.
3. Синтез 6-арил-2*H*-тиопиран-3-карбальдегидов – потенциальных биологически активных агентов / И.Д. Карпов, Д.А. Огородников, К.Л. Овчинников, В.В. Плахтинский // Семьдесят шестая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с междунар. участием. 19-20 апреля 2023 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ. 2023. С. 51-53. 1 CD-ROM.

РЕАКЦИЯ 4,5-ДИХЛОРФТАЛОНИТРИЛА С МОНОФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ N-НУКЛЕОФИЛАМИ

К.В. Молчанова, В.В. Бухалин, В.Л. Баклагин

Научный руководитель – **В.Л. Баклагин**, аспирант

Ярославский государственный технический университет

Исследовано влияние природы N-нуклеофилов на протекание реакции активированного ароматического нуклеофильного замещения атома хлора в 4,5-дихлорфталонитриле. Были синтезированы новые 4-(R-амино)-5-хлорфталонитрилы.

Ключевые слова: ароматическое нуклеофильное замещение, 4,5-дихлорфталонитрил, N-нуклеофилы, фталоцианины

REACTION OF 4,5-DICHLOROPHTHALONITRILE WITH MONOFUNCTIONAL N-NUCLEOPHILES

K.V. Molchanova, V.V. Bukhalin, V.L. Baklagin

Scientific Supervisor – **V.L. Baklagin**, Graduate

Yaroslavl State Technical University

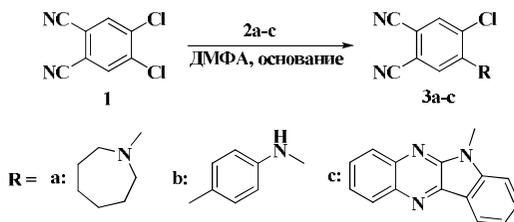
The effect of the nature of N-nucleophiles on activated aromatic nucleophilic substitution reaction of the chlorine atom in 4,5-dichlorophthalonitrile was investigated. New 4-(R-amino)-5-chlorophthalonitriles were synthesized.

Keywords: aromatic nucleophilic substitution, 4,5-dichlorophthalonitrile, N-nucleophiles, phthalocyanines

Замещенные фталонитрилы представляют интерес в качестве полупродуктов для синтеза макрогетероциклических соединений, таких как фталоцианины, находящихся применение в солнечных элементах, фотодинамической терапии, катализе и в других областях науки и техники [1,2,3]. 4,5-Дихлорфталонитрил обычно используют в реакции с *O*- или *S*-нуклеофилами в присутствии основания, в то же время реакции с *N*-нуклеофилами практически не встречаются. Ранее был получен 4-морфолил-5-хлорфталонитрил [4], однако в литературе отсутствуют сведения о 4-ариламино- и 4-гетариламино-5-хлорфталонитрилах.

Целью данной работы стал синтез 4-(*R*-амино)-5-хлорфталонитрилов.

Реакция ароматического нуклеофильного замещения между 4,5-дихлорфталонитрилом **1** и *N*-содержащими нуклеофилами **2a-c** была проведена в ДМФА при температуре 80–140 °С и времени 4-19,5 ч (в зависимости от природы **2a-c**). В качестве депротонирующего агента могут быть использованы карбонат калия, триэтиламин или, в случае проведения реакции при температуре выше 90 °С, трибутиламин. Целевые соединения **3a-c** были получены с выходами до 42%.



Следует отметить, что в данном случае нуклеофильность *N*-нуклеофилов коррелирует с их основностью, а легкость протекания реакции нуклеофильного замещения атома хлора в субстрате **1** уменьшалась в следующем ряду **2a**>**2c**>**2b**, что хорошо согласуется с теорией. В случае наименее основного **2b** реакцию удалось провести только в жестких условиях при нагреве до 140 °С в течение 11,5 часов в присутствии трибутиламина. Продукт **3c** был получен в результате длительного нагревания (19,5 часов), но в значительно более мягких условиях (80 °С). Для реакции исходного нитрила **1** с обладающим наибольшей основностью азапаном **2a** было достаточно всего 4 часов при той же температуре.

Строение и индивидуальность всех полученных соединений были подтверждены совокупностью данных инструментальных методов анализа, таких как ЯМР ¹H и ИК-спектроскопия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lu Ch. Advancement in porphyrin/phthalocyanine compounds-based perovskite solar cells / Ch. Lu, Z. Yu, J. Cao // Chin. J. Struct. Chem. 2024. P. 100240.
2. Nene L.C. Phthalocyanine-based probes in alleviating or evading tumour-hypoxia for enhanced photo- and / sono-mediated therapeutic efficacies / L.C. Nene, H. Abrahamse // Photodiagnosis. Photodyn. Ther. 2024. Vol. 46. P. 104024.
3. Revealing a double-volcano-like structure-activity relationship for substitution-functionalized metal-phthalocyanine catalysts toward electrochemical CO₂ reduction / W. Zhu, S. Liu, K. Zhaoet [et al.] // Small. 2024. Vol. 20. P. 2306144.
4. Synthesis, physicochemical properties and electrochemistry of morpholine-substituted phthalocyanines / A.K. Burat, A. Koca, J.P. Lewtaket [et al.] // J. Porphyr. Phthalocyanines. 2010. Vol. 14. № 7. P. 605-614.

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА
АНТИМИКРОБНЫХ ПЕПТИДОМИМЕТИКОВ
С ФРАГМЕНТАМИ АДАМАНТАНА, L-ТРИПТОФАНА
И L-ФЕНИЛАЛАНИНА**

**А.А. Наметкина, В.С. Ясонов, В.А. Ляпунов,
Н.В. Красникова**

Научный руководитель – **Н.В. Красникова**, канд. хим. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

*Синтезированы несколько новых пептидомиметиков на основе 1-адамантанкарбоновой кислоты и гидрофобных аминокислот, L-фенилаланина и L-триптофана, и 2-(диэтиламино)этиламина. По результатам скрининговых биологических испытаний на *in vivo* и *in vitro* моделях показана перспективность полученных соединений в качестве антимикробных агентов.*

***Ключевые слова:** антимикробные пептиды, пептидомиметики, 1-адамантанкарбоновая кислота, производные аминокислот, производные дипептидов*

**TECHNOLOGY OF SYNTHESIS AND PROPERTIES
OF ANTIMICROBIAL PEPTIDOMIMETICS
WITH FRAGMENTS OF ADAMANTANE, L-TRYPTOPHAN
AND L-PHENYLALANINE**

**A.A. Nametkina, V.S. Yasonov, V.A. Lyapunov,
N.V. Krasnikova**

Scientific Supervisor – **N.V. Krasnikova**, Candidate of Chemical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

*Several new peptidomimetics based on 1-adamantanecarboxylic acid and hydrophobic amino acids, L-phenylalanine and L-tryptophan, and 2-(diethylamino)ethylamine have been synthesized. According to the results of screening biological tests *in vivo* and *in vitro* models, the prospects of the obtained compounds as antimicrobial agents are shown.*

***Keywords:** antimicrobial peptides, peptidomimetics, 1-adamantanecarboxylic acid, derivatives of amino acids, derivatives of dipeptides*

Как известно из ряда исследований, синтетические антимикробные пептидомиметики с относительно небольшой молекулярной массой (как правило, до 600-700 а.е.м.) могут быть хорошей альтернативой широко применяющимся селективным пептидным антибиотикам, например, группы липопептидов, благодаря своей высокой активности и ферментативной устойчивости при относительной простоте синтеза и значительной экономической эффективности [1-3]. Структура таких пептидомиметиков для лучшего взаимодействия с бактериальными мембранами и их дальнейшего разрушения должна быть амфифильной, то есть иметь выраженные гидрофобный и гидрофильный молекулярные фрагменты. В дизайне этих структур в качестве гидрофобных задействуются различные алифатические, алициклические и ароматические фрагменты, в частности, адамантановый, а гидрофильных – различные аминные группы. Дополнительным преимуществом применения в качестве потенциальных лекарственных средств пептидов и их производных является их высокая биосовместимость и биodeградируемость в окружающей среде.

В наших предыдущих работах исследованы методы синтеза серии производных α -аминокислот и дипептидов, содержащих в N-концевой группе гидрофобный 4-(1-адамантил)бензоильный фрагмент и остатки гидрофобных аминокислот [4, 5]. Целью настоящей работы являлся синтез амфифильных пептидомиметиков на основе 1-адамтанкарбоновой кислоты, гидрофобных аминокислот L-фенилаланина и L-триптофана и 2-(диэтиламино)этиламина.

Синтез 1-адамтанкарбоновой кислоты проводился по реакции прямого карбоксилирования 1-бромадамантана муравьиной кислотой (реакция Коха-Хаафа). Реакцию проводили в среде концентрированной серной кислоты без использования органических растворителей. Далее из 1-адамтанкарбоновой кислоты (**1**) был синтезирован хлорангидрид (условия **а**, рис. 1), который затем при взаимодействии с аминокислотами в щелочной среде был преобразован в аминокислотные производные **2** с выходами 80-85 % (условия **б**). Для синтеза дипептидных производных **3** был использован известный метод образования амидной связи на основе N,N-карбонилдимидазола (КДИ, условия **в**) с последующим снятием сложноэфирной защиты (условия **г**). Конечные соединения **4** и **5** были получены также с использованием КДИ. Выходы продуктов **3-5** составили 62-79 %.

Структура и чистота всех полученных соединений была подтверждена с использованием методов тонкослойной хроматографии, ИК- и ^1H ЯМР-спектроскопии.

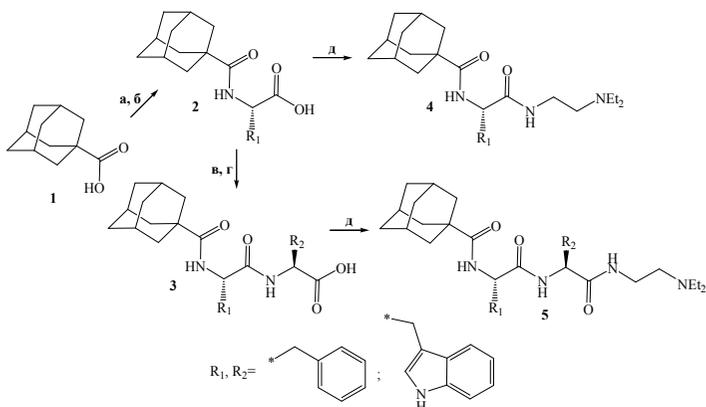


Рис. 1. Схема синтеза производных 1-адамантанкарбоновой кислоты.
 Реагенты и условия: **(а)** SOCl_2 , ДМФА; **(б)** $\text{NH}_2\text{-CHR}_1\text{-COOH}$, NaOH, H_2O , ТГФ, 5-10 °С; **(в)** КДИ, $\text{NH}_2\text{-CHR}_2\text{-COOCH}_3$, ТГФ, 66 °С; **(г)** NaOH, $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$, H_2O ; **(д)** КДИ, $\text{NH}_2\text{-(CH}_2)_2\text{-NEt}_2$, ТГФ, 66 °С

Для некоторых новых синтезированных соединений при сотрудничестве с Ярославским государственным медицинским университетом проведено скрининговое исследование антибактериальной (культуры *E. Coli*, *E. Coli* C600, *S. Aureus*, *Staphylococcus*) и противогрибковой (культура *Candida*) активностей *in vitro* и острой токсичности *in vivo*, показавшее перспективность дальнейших исследований в этом направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Small antimicrobial agents based on acylated reduced amide scaffold / P. Teng, D. Huo, A. Nimmagadda, J. Wu, F. She, M. Su, X. Lin, J. Yan, A. Cao, C. Xi, Y. Hu, J. Cai // *J. Med. Chem.* 2016. Vol. 59. P. 7877-7887.
2. Discovery of Trp-His and His-Arg Analogues as New Structural Classes of Short Antimicrobial Peptides / R.K. Sharma, R.P. Reddy, W. Tegge, R. Jain // *J. Med. Chem.* 2009. Vol. 52. P. 7421-7431.
3. Synthesis and Structure–Activity Relationship Studies of N-Terminal Analogues of the Antimicrobial Peptide Tridecaptin A1 / S.A.Cochrane, C.T. Lohans, J.R. Brandelli, G. Mulvey, G.D. Armstrong, J.C. Vederas // *J. Med. Chem.* 2014. Vol. 57. P. 1127-1131.
4. Synthesis of amino acid derivatives of 4-(1-adamantyl)benzoic acid obtained by transition metal ion catalyzed oxidation of 4-(1-adamantyl)toluene / S.V. Krasnikov, T.A. Obuchova, O.A. Yasinskii, K.V. Balakin // *Tetrahedron Lett.* 2004. Vol. 45. P. 711-714.
5. Короткие N-ацилдипептиды с адамантилбензоильным фрагментом с потенциальной противовирусной активностью / А.В. Спиридонова, П.А. Уваровская, Н.В. Красникова, С.В. Красников, Е.Е. Розаева // *От химии к технологии шаг за шагом.* 2021. Т. 2. Вып. 2. С. 60-68. URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/issue/view/2021-2-2>

КОНЬЮГАТЫ АБИРАТЕРОНА И ПИРОФЕОФОРБИДА А: ДИЗАЙН, СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

А.Е. Решетникова^{1,2}

Научный руководитель – **В.А. Золотцев²**, канд. хим. наук

¹Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

²ИБМХ им. В.Н. Ореховича

Рассматривается дизайн и синтез конъюгатов пиррофеофорбида а с производным абиратерона, сочлененных различными линкерами. Полученные конъюгаты являются перспективными молекулами в качестве фотосенсибилизаторов для фотодинамической терапии.

Ключевые слова: тетрапирольные макроциклы, пиррофеофорбид а, абиратерон, фотосенсибилизатор, фотодинамическая терапия, рак предстательной железы

CONJUGATES OF ABIRATERONE AND PYROPHEOPHORBIDE A: DESIGN, SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF BIOLOGICAL ACTIVITY

A.E. Reshetnikova^{1,2}

Scientific Supervisor – **V.A. Zolottsev²**, Candidate of Chemical Sciences

¹Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

²IBMC V.N. Orekhovich

The design and synthesis of conjugates of pyropheophorbide a with an abiraterone derivative, which are linked by various linkers, are considered. The resulting conjugates are promising molecules as photosensitizers for photodynamic therapy.

Keywords: tetrapyrrole macrocycles, pyropheophorbide a, abiraterone, photosensitizer, photodynamic therapy, prostate cancer

Тетрапирольные макроциклы, такие как порфирины и хлорины, благодаря своим уникальным свойствам, имеют широкий спектр применений в области медицины. Наиболее важным способом применения

данных макроциклов является фотодинамическая терапия (ФДТ) опухолей, где они выступают в роли фотосенсибилизаторов (ФС), но, несмотря на то, что ФДТ опухолей с помощью данных молекул является перспективным направлением для борьбы с онкологическими заболеваниями, возникают проблемы с эффективностью накопления ФС в злокачественных клетках, а также пониженная селективность, что требует заметного увеличения введенных доз фотосенсибилизатора.

Конъюгация макроцикла с лекарственными препаратами, в частности с противораковыми стероидами, является динамично развивающимся подходом для улучшения тропности молекулы к опухолевой клетке, а также улучшения фотодинамических свойств и последующего расширения области их применения в медицине [1-5].

Целью настоящей работы является дизайн, синтез новых конъюгатов абиратерона с пиррофеофорбидом а – производным порфирина, различающихся длиной и характером линкера, связывающего две функциональные молекулы конъюгата, а также исследование полученных соединений в качестве ФС для ФДТ рака предстательной железы (рис. 1).

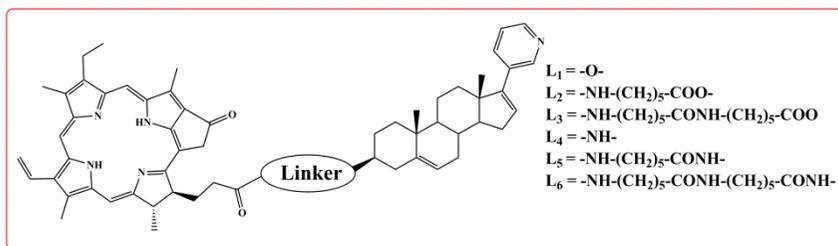


Рис. 1. Структурные формулы целевых конъюгатов

В ходе работы одной из ключевых задач был синтез 3β -аминопроизводного абиратерона **11** – важного таргетного фрагмента целевой молекулы конъюгата.

Для синтеза целевого стероидного блока в качестве исходного соединения использовался доступный ацетат абиратерона **7**, который подвергали деацетилированию кипячением в метиловом спирте с добавлением карбоната калия, затем полученный спирт **8** мезилировали, что в свою очередь приводило к интермедиату **9**, имеющему хорошо уходящую группу в 3β -положении. Дальнейшее воздействие азидом натрия на полученное соединение **9** приводило к образованию азид-производного **10**, важно отметить, что данная последовательность реакций необходима для сохранения определенной стереохимии заместителя при 3 атоме углерода, т.к. именно 3β -производные стероидов обладают доказанной большей биологической активностью. Финальной реакцией в цепочке является

восстановление азида **10** по методу Штаудингера с применением трифенилфосфина с получением целевого amino-производного абиратерона **11**.

На основе полученного стероидного блока была синтезирована серия конъюгатов производных абиратерона с пиррофеофорбидом *a*, сочлененных различными линкерами **1-6**. В качестве линкеров использовались капроновая и дикапроновая кислоты. Также был получен конъюгат, где стероидный фрагмент связан с пиррофеофорбидом *a* посредством амидной связи. Синтетическая цепочка получения производного абиратерона и целевых конъюгатов показана на рис. 2.

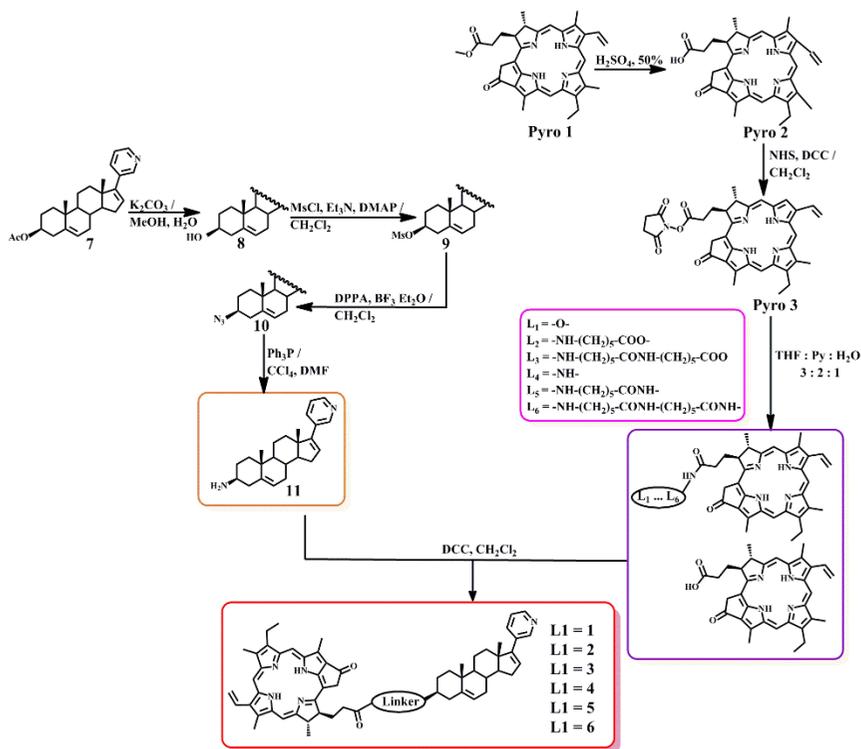


Рис. 2. Схема синтеза целевых конъюгатов

На первой стадии метиловый эфир пиррофеофорбида *a* (**Пиро 1**) гидролизовали под действием 50%-ной серной кислоты с получением пиррофеофорбида *a* (**Пиро 2**). Далее **Пиро 2** переводили в форму активированного сукцинимидного эфира (**Пиро 3**), который вводили в реакцию с линкерами. Полученные производные пиррофеофорбида *a* при по-

мощи карбодиимидного метода вводили в реакцию со стероидным блоком **11**, получая целевые конъюгаты **1–6**.

В настоящий момент исследуются физико-химические свойства конъюгатов. Планируется, что полученные конъюгаты будут обладать антипролиферативной активностью и повышенной фотоиндуцированной токсичностью на культурах клеток LNCaP и PC-3, что в свою очередь делает эти молекулы потенциальными противораковыми агентами, которые смогут применяться в качестве ФС для ФДТ рака предстательной железы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрахамс. Г.* Новые фотосенсибилизаторы для фотодинамической терапии / Г. Абрахамс, М. Гэмблин // Биохимия: научный журнал. 2020. Вып. 473(4). С. 347-364.
2. *Цолекиль Н.* Порфирин, как диагностический и терапевтический агент / Н. Цолекиль, С. Нелана, О. Олувафеми. М.: Молекулы, 2017. Вып. 24. С. 2669.
3. Текущее состояние наноразмерных систем доставки фотодинамической терапии на основе темпорфина: передовые стратегии доставки / И. Икавец, М. Миллард, В. Зорин, Г. Лассаль, Л. Бездетная // Научный журнал. 2019. Вып. 304. С. 268-287.
4. *Сэйди Э.* Феофорбид / Э. Сэйди, С. Лоритано, А. Айнора // Медицина. Настоящее и будущее: научный журнал. 2020. Вып. 18. С. 257
5. *Корольчук А.М.* Конъюгаты тетрапирольных макроциклов, как потенциальные противораковые таргетно-ориентированные фотосенсибилизаторы / А.М. Корольчук, В.А. Золотцев, А.Ю. Мишарин // Научный литературный обзор. 2023. Вып. 381. С.10.

ОРИЕНТАЦИЯ РЕАКЦИИ ЭЛЕКТРОФИЛЬНОГО ГАЛОГЕНИРОВАНИЯ ГАЛОГЕНПРОИЗВОДНЫХ ПИРИДО[1,2-а]БЕНЗИМИДАЗОЛА

Л.И. Савина, Р.С. Бегунов

Научный руководитель – **Р.С. Бегунов**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Проведено исследование ориентации реакции S_{EAr} 7-хлор- и 9-хлорпиридо[1,2-а]бензимидазолов с галогенсукцинимидами в серной кислоте. При галогенировании и 7-хлор- и 9-хлорпроизводного введение электрофильной частицы преимущественно происходило в положение 8. Другим реакционным центром являлся C^6 . Использование избытка галогенсукцинимида приводило к образованию 6,7,8-трихлор- и 6,8,9-трихлорпиридо[1,2-а]бензимидазолов.

Ключевые слова: пиридо[1,2-а]бензимидазолы, галогенпроизводные, реакция S_{EAr} , региоселективность

ORIENTATION OF THE ELECTROPHILIC HALOGENATION REACTION OF HALOGEN DERIVATIVES OF PYRIDO[1,2-a]BENZIMIDAZOLE

L.I. Savina, R.S. Begunov

Scientific Supervisor – **R.S. Begunov**, Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor

P.G. Demidov Yaroslavl State University

The orientation of the S_{EAr} reaction of 7-chloro- and 9-chloropyrido[1,2-a]benzimidazoles with halogensuccinimides in sulfuric acid was studied. During the halogenation of both 7-chloro- and 9-chloro derivatives, the introduction of an electrophilic particle mainly occurred at position 8. Another reaction center was C^6 . The use of an excess of halogensuccinimide led to the formation of 6,7,8-trichloro- and 6,8,9-trichloropyrido[1,2-a]benzimidazoles.

Keywords: pyrido[1,2-a]benzimidazoles, halogen derivatives, S_{EAr} reaction, regioselectivity

Конденсированные производные бензимидазола с узловым атомом азота, такие как пиридо[1,2-*a*]бензимидазолы, вызывают повышенный интерес у исследователей, занимающихся разработкой новых лекарственных препаратов. Это связано с тем, что данные азаетероциклы проявляют широкий спектр биологической активности [1, 2]. Присутствие в молекуле ряда заместителей, например, атомов галогенов способствует повышению фармакологических свойств веществами [3, 4]. При этом ряд исследователей отмечали, что с увеличением их количества эффективность химического соединения становится больше [4].

Поэтому в данной работе были разработаны эффективные способы синтеза полигалогенпроизводных пиридо[1,2-*a*]бензимидазола.

Синтез моногалогенпроизводных – 7-хлор- (**2a**) и 9-хлорпиридо[1,2-*a*]бензимидазолов (**2b**) осуществляли в ходе внутримолекулярной восстановительной циклизации хлорида 1-(2-нитро-6-хлорфенил)пиридиния (**1**) по отработанной ранее методике (схема 1) [5].

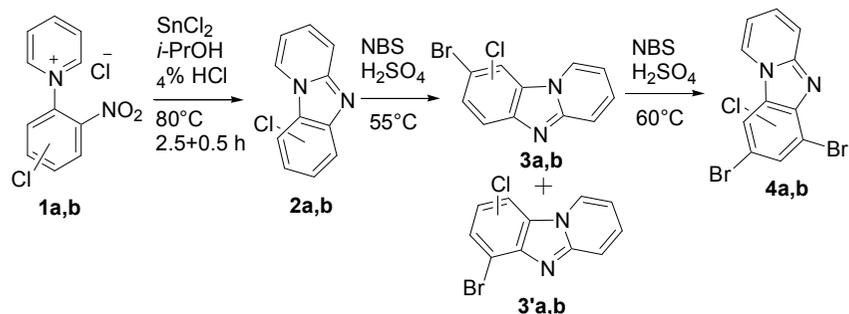


Схема 1

Введение атома брома проводили в серной кислоте в условиях реакции S_EAg при 55 °С, используя N-бромсукцинимид (NBS) (схема 1). Оказалось, что при одновременном смешении растворов субстрата **2a** или **2b** и галогенирующего агента происходило образование смеси продуктов введения электрофила в 8 (основной продукт (**3a,b**)) или 6 (минорный продукт (**3'a,b**)) положение. С целью увеличения селективности процесса было изучено влияние температуры реакции и скорости внесения раствора галогенсукцинимид в реакционную массу. Оказалось, что в индивидуальном виде 8-Br-7(9)-Cl-хлорпиридо[1,2-*a*]бензимидазол (**3a,b**) может быть получен при прикапывании раствора NBS в серной кислоте в течение 3 ч при 40 °С.

Реакционным центром для электрофильной атаки в дигалогенпроизводном (**3a,b**) являлось положение 6 гетероцикла. При этом для получения тригалогенпроизводного (**4a,b**) требовался 2-кратный избыток галогенирующего агента и температура 60 °С (см. схему 1).

Изучение региселективности процесса галогенирования моно- (**2a,b**) и дигалогенпроизводных (**3a,b**) методами квантовой химии показало, что реакция имеет орбитальный контроль. Вклад какого атома углерода в ВЗМО был больше, то положение и являлось преимущественно реакционным центром для введения электрофильной частицы.

Данный способ можно использовать для введения других атомов галогенов с целью получения широкого ряда полигалогенпроизводных пиридо[1,2-*a*]бензимидазола. Полученные соединения будут переданы в специализированные лаборатории для изучения их антибактериальной и противоопухолевой активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бегунов Р.С. Синтез пиридо[1,2-*a*]бензимидазолов и других конденсированных производных имидазола с узловым атомом азота / Р.С. Бегунов, Г.А. Рызванович // Успехи химии. 2013. Т. 82, №1. С. 77–97. DOI: 10.1070/RC2013v082n01ABEH004295.
2. Бегунов Р.С. Биологическая активность конденсированных производных пиридина с узловым атомом азота / Р.С. Бегунов, А.А. Соколов // Химико-фармацевтический журнал. 2022. Т. 56, № 12. С. 3-17. DOI: 10.30906/0023-1134-2022-56-12-3-17.
3. Mayoka G. Structure–Activity Relationship and *in Vitro* Absorption, Distribution, Metabolism, Excretion, and Toxicity (ADMET) Studies of *N*-aryl 3-Trifluoromethyl Pyrido[1,2-*a*]benzimidazoles That Are Efficacious in a Mouse Model of Schistosomiasis / G. Mayoka, J. Keiser, C. Häberli, K. Chibale // ACS Infect. Dis. 2019. Vol. 5. P. 418–429.
4. Synthesis, antiprotozoal and anticancer activity of substituted 2- trifluoromethyl- and 2-pentafluoroethylbenzimidazoles / M. Andrzejewska, L. Yépez-Mulia, R. Cedillo-Rivera, A. Tapia, L. Vilpo, J. Vilpo, Z. Kazimierzczuk // European Journal of Medicinal Chemistry. 2002. Vol. 37. P. 973-978.
5. Бегунов Р.С. Восстановительная циклизация хлорида N-(2,4-динитрофенил)пиридиния хлоридом олова (II) / Р.С. Бегунов, Г.А. Рызванович // Химия гетероциклических соединений. 2004. № 9. С. 1407-1408.

СИНТЕЗ И КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПЕРХЛОРАТА 3,4,6-ТРИФЕНИЛТИОПИРИЛИЯ

М.В. Старостин¹, Д.А. Сбытов², А.В. Колобов^{1,2}

Научный руководитель – **А.В. Колобов**, д-р хим. наук, профессор

¹Ярославский государственный технический университет

²Университет ИТМО

Получен перхлорат 3,4,6-трифенилтиопирилия при окислении 3,4,6-трифенил-3,4-дигидро-2H-тиопирана тритилперхлоратом. С помощью функционалов B3LYP и B2PLYP метода DFT рассчитаны спектры поглощения и эмиссии.

Ключевые слова: перхлорат 3,4,6-трифенилтиопирилия, 3,4,6-трифенил-3,4-дигидро-2H-тиопиран, тритилперхлорат, метод DFT, функционал B3LYP, функционал B2PLYP

SYNTHESIS AND QUANTUM CHEMICAL CALCULATION SPECTRAL PROPERTIES 3,4,6-TRIPHENYLTHIOPYRYLIUM PERCHLORATE

M.V. Starostin¹, D.A. Sbytov², A.V. Kolobov^{1,2}

Scientific Supervisor - **A.V. Kolobov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

¹YaroslavlStateTechnicalUniversity

²ITMO University

3,4,6-triphenylthiopyryllium perchlorate was obtained by oxidation of 3,4,6-triphenyl-3,4-dihydro-2H-thiopyran with trityl perchlorate. Absorption and emission spectra were calculated using the B3LYP and B2PLYP functionals of the DFT method.

Keywords: 3,4,6-triphenylthiopyryllium perchlorate, 3,4,6-triphenyl-3,4-dihydro-2H-thiopyran, trityl perchlorate, DFT method, B3LYP functional, B2PLYP functional

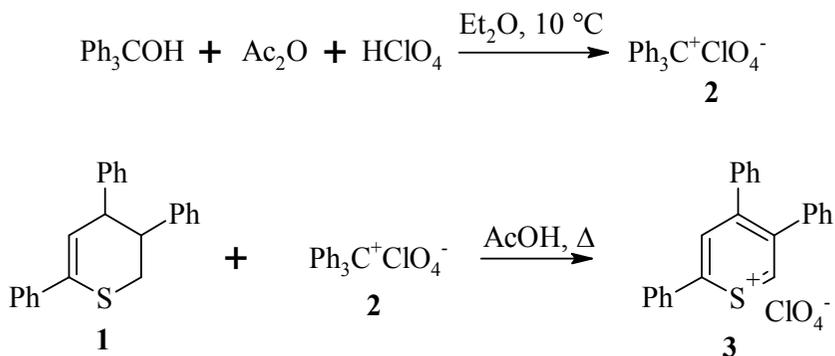
В последнее время все больший интерес вызывают материалы и соединения на основе солей тиопирилия, благодаря их особым фотохимическим свойствам. Согласно исследованиям, соли тиопирилия различ-

ного строения могут применяться в OLED-технике, термотрансферной печати [1], в фотоматериалах, лазерной технике, в качестве красителей, поглощающих инфракрасное излучение [2], а также в диагностике раковых заболеваний [3].

Целью данной работы является разработка способа получения перхлората 3,4,6-трифенилтиопириллия из 3,4,6-трифенил-3,4-дигидро-2*H*-тиопирана и отработка методов расчёта спектров поглощения и эмиссии, обеспечивающих максимальную сходимость с экспериментальными результатами для ряда тиопирилиевых солей.

Исходный 3,4,6-трифенил-3,4-дигидро-2*H*-тиопиран **1** получен *one-pot* методом исходя из 1,3-дифенил-2-пропен-1-она, стирола и реактива Лавессона [4].

3,4-Дигидро-2*H*-тиопираны менее активны в реакции получения солей тиопириллия, чем 2*H*- и 4*H*-тиопираны. В данной работе была использована модифицированная методика получения соли из 2,6-дифенилтетрагидро-2*H*-тиопирана [5]. В качестве окислителя был использован тритилперхлорат **2**, без выделения вводимый в реакцию с 3,4,6-трифенил-3,4-дигидро-2*H*-тиопираном **1**. Реакция проводится при кипячении в уксусной кислоте, контроль протекания осуществляется по ТСХ.



Выход перхлората 3,4,6-трифенилтиопириллия **3** после выделения и очистки составил 19%. Структура подтверждена ИК- и ЯМР-спектроскопией.

Были проведены квантово-химические расчеты структуры, спектров поглощения и эмиссии перхлората 3,4,6-трифенилтиопириллия **3**. Расчеты проводились с помощью метода DFT, функционалов B3LYP для спектра поглощения и B2PLYP для спектра эмиссии (рис. 1).

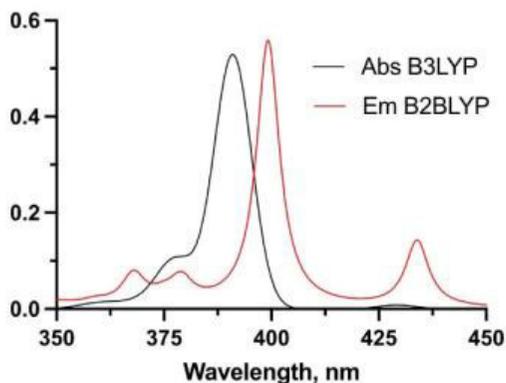


Рис. 1

Максимум поглощения составил 389 нм, максимум эмиссии 401 нм.

Таким образом, впервые был получен перхлорат 3,4,6-трифенилтиопириллия из 3,4,6-трифенил-3,4-дигидро-2*H*-тиопирана. С помощью квантово-химических расчетов получены предполагаемые спектры поглощения и эмиссии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hepworth J.D.* Thiopyrans and their Benzo Derivatives. *Comprehensive Heterocyclic Chemistry III* / J. D. Hepworth, B. M. Heron; edit. D. StC. Black // Elsevier. 2008. Vol. 7. P. 727-954.
2. *Rudorf W.D.* Category 2, Hetarenes and Related Ring Systems. Six-Membered Heterarenes with One Chalcogen. Product Class 6: Thiopyrylium Salts / W.D. Rudorf; edit. E. J. Thomas // *Science of Synthesis*. 2003. Vol. 14. P. 649-718.
3. Polymethine Thiopyrylium Fluorophores with Absorption beyond 1000 nm for Biological Imaging in the Second Near-Infrared Subwindow / B. Ding, Y. Xiao, H. Zhou, X. Zhang, C. Qu, F. Xu, Z. Deng, Z. Cheng, X. Hong // *Journal of Medicinal Chemistry*, 2019. Vol. 62. № 4. P. 2049-2059.
4. Пат. № 2670977 RU, C07D 335/02, C07D 335/04, C07D 409/04. Способ получения производных 3,4-дигидро-2*H*-тиопирана: № RU 2018112934; заявка 2018.04.09; опубликован 2018.10.26 / Меркулова Е.А., Колобов А.В., Овчинников К.Л.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ярославский государственный технический университет" ФГБОУ ВО "ЯГТУ" (RU).
5. *Wizinger R.* 244. Beitrag zur Kenntnis der Thiopyryliumsalze und Thiopyrylocyanine / R. Wizinger, H. J. Angliker // *Helvetica Chimica Acta*. 1966. Vol. 49. P. 2046-2055.

РАЗРАБОТКА СВЯЗУЮЩЕГО НА ОСНОВЕ ЛАТЕКСА АКРИЛОВОГО СОПОЛИМЕРА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТВЕРДЫХ ДОЗИРОВАННЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ

Г.В. Торохов, Б.В. Шведский, Е.Е. Рогожина, И.С. Коротнева

Научный руководитель – **И.С. Коротнева**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Описывается разработка нового отечественного связующего на основе водных дисперсий акриловых сополимеров, необходимого для производства твердых дозированных лекарственных форм; рассматриваются технологические и фармакотерапевтические свойства полученных продуктов и полупродуктов.

Ключевые слова: фармацевтическая промышленность, лекарственная форма, влажная грануляция, вспомогательные вещества, связующее, эмульсионная сополимеризация, латекс, акриловый сополимер

DEVELOPMENT OF BINDER BASED ON ACRYLIC COPOLYMER FOR CREATION OF SOLID DOSAGE FORMS

G.V. Torokhov, B.V. Shvedskiy, E.E. Rogozhina, I.S. Korotneva.

Scientific Supervisor – **I.S. Korotneva**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The development of a new domestic binder necessary for the production of solid dosage forms prepared on the basis of aqueous dispersions of acrylic copolymers is described; technological and pharmacotherapeutic properties of the obtained products and intermediates are considered.

Keywords: pharmaceutical industry, dosage form, wet granulation, excipients, binder, emulsion copolymerization, latex, acrylic copolymer, butyl acrylate

В последние несколько лет, оказываемое на Российскую Федерацию санкционное давление побудило правительство страны начать политику стимуляции собственной фармацевтической отрасли. Благодаря данному курсу, доля отечественных лекарственных препаратов в последние годы заняла значительную часть российского рынка [1]. В связи с

этим, для поддержки фармпромышленности РФ и развитию независимости от иностранных производителей, становится актуальной задача по разработке новых отечественных, схожих по фармакотерапевтическому действию, либо улучшенных аналогов зарубежных препаратов.

Одной из самых распространенных в мире лекарственных форм (ЛФ) являются таблетки, производимые путем совместного прессования лекарственных и вспомогательных веществ. Их повсеместное применение связано с удобством в транспортировке, хранении и приеме пациентами. Однако фармацевтические порошки, обычно не обладают необходимыми технологическими характеристиками. Поэтому часто при создании таблетированных лекарственных форм в их производство включается стадия влажного гранулирования. Целью данной операции является улучшение сжимаемости, текучести, формы частиц и предотвращение сегрегации [2]. При таком способе грануляции происходит смешивание порошка таблеточной смеси с подходящей жидкостью для гранулирования и получение частиц большего размера – гранул. Именно выбор данной гранулирующей жидкости – связующего – может значительно повлиять как на технологические, так и на терапевтические свойства получаемого препарата.

В настоящей работе, в качестве такого гранулирующего агента, были синтезированы водные дисперсии (латексы) акриловых сополимеров различного состава. Акриловые сополимеры, входя в состав гранулятов для производства таблеток, могут влиять на изменение профиля высвобождения лекарственного вещества и на прочность получаемых через влажное гранулирование таблеток. При этом акриловые сополимеры широко используются в фармацевтической промышленности и считаются безопасными материалами для организма человека [3]. Способом получения акриловых латексов был выбран процесс свободно-радикальной эмульсионной полимеризации в присутствии анионноактивного и неионогенного эмульгаторов.

Синтезированные латексы были апробированы в качестве связующих агентов при получении гранулятов модельной таблеточной смеси, состоящей из микрокристаллической целлюлозы, крахмала кукурузного, лактозы, аэросила и метамизола натрия в качестве модельной активной фармацевтической субстанции. Гранулы получали с применением универсального привода ERWEKA AR 403 при использовании насадки «Влажный гранулятор ERWEKA FGS» путем протирания увлажненной таблеточной смеси через перфорированную поверхность с размером ячеек сита 1,5 мм и при частоте колебаний ротора 100 мин⁻¹. Полученные грануляты помещались в сушильный шкаф при температуре не выше 50 °С на 60 минут. После высушивания, проводилось определение дисперсологического состава полученных образцов гранулятов в соответст-

вии с ОФС.1.1.0015.15. По результатам исследования было установлено, что с увеличением концентрации синтезированного связующего уменьшается доля мелкодисперсной фракции (МДФ). На долю МДФ значительное влияние также оказывал состав сополимера применяемого связующего агента – с увеличением доли бутилакрилатных звеньев в составе сополимера применяемого латекса, увеличивалась доля крупной фракции. Полученные гранулы анализировались в соответствии с ОФС 1.4.2.0016.15 для определения других технологических параметров, таких как насыпная плотность, сыпучесть и угол естественного откоса. Образцы гранулятов показали удовлетворяющие стандартам значения по данным характеристиками. Полученные гранулы перед таблетированием опудривались в смесителе с вращающимся корпусом смесью порошков, состоящей из крахмала кукурузного, талька и магния стеарата. Опудривание необходимо для сглаживания рельефа поверхности гранул и легкости выталкивания таблеток из матричных отверстий пресса.

Применяя роторно-таблеточный пресс SLP-2 компании SHAKTI, были спрессованы двояковыпуклые круглые таблетки без риски диаметром 14 мм. Данные таблетированные лекарственные формы тестировались для определения различных характеристик. Для них были определены прочность на истирание и время полного распада по ОФС.1.4.2.0004.15 и ОФС.1.4.2.0013.15 соответственно. По результатам проведенных испытаний были сделаны несколько выводов. Во-первых, таблетки, содержащие в составе акриловые сополимеры, обладали достаточной прочностью на истирание – потеря в массе составила в среднем не более 0,5% при допустимом значении не более 3% для фармакопеи РФ и 1% для фармакопеи ЕС. Во-вторых, было установлено, что с увеличением концентрации связующего увеличивалось время для полного разрушения таблеток. Определена зависимость между составом сополимера связующего и временем распадаемости – при увеличении доли звеньев бутилакрилата в сополимере, требовалось больше времени для полного распада таблетированных лекарственных форм. Данные результаты говорят о том, что при варьировании состава акриловых сополимеров, применяемых в качестве связующего, а также количества применяемого связующего можно регулировать время распада таблетки.

В настоящей работе также было проведено изучение влияния концентрации и состава сополимера применяемого связующего на степень высвобождения активной субстанции из спрессованных таблеток по ОФС.1.4.2.0014.15. Результаты исследование представлены на рис. 1.

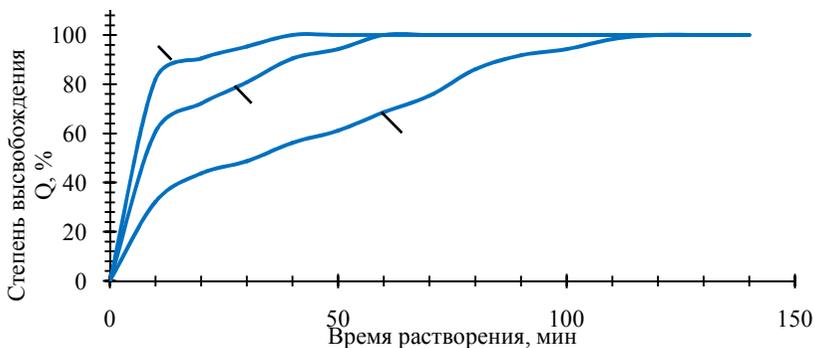


Рис. 1. Профили высвобождения метамизола натрия из таблеток, содержащих связующие различной концентрации: концентрация связующего 1 –10%, 2 –15%, 3 –20%

Анализируя полученные данные, был сделан вывод о четкой корреляции между временем полного распада таблеток и временем полного высвобождения АФС. Экспериментально было подтверждено, что при увеличении концентрации связующей жидкости и доли бутилакрилатных звеньев в составе сополимера связующего растет и время полного высвобождения лекарственного вещества из твердой лекарственной формы, что дает возможность производить таблетки с контролируемым высвобождением.

Таким образом, в работе осуществлен синтез водных дисперсий акриловых сополимеров, которые могут использоваться в качестве связующих агентов при производстве твердых дозированных лекарственных форм с необходимыми технологическими и фармакотерапевтическими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доржиева В.В. Государственная политика импортозамещения как фактор развития фармацевтической промышленности России: влияние санкций и шаги к успеху // Вестник Института экономики Российской академии наук. 2022. № 6. С. 68-78.
2. Тыжигирова В.В. Показатели качества и особенности анализа лекарственных препаратов в форме таблеток: учебное пособие / Иркутский государственный медицинский университет, кафедра фармацевтической и токсикологической химии. Иркутск: ИГМУ, 2022. 62 с.
3. Pharmaceutical significance of Eudragit: A review, Future / Ch. Niranjan Patra [et al.] // Journal of Pharmaceutical Sciences. 2017. Vol. 3, no. 1. P. 33-45.

АМИНОЛИЗ ХРОМЕНО[4,3-*d*]ПИРИМИДИН-2,5-ДИОНОВ

**М.С. Шалабанова, Н.А. Богданова, Е.С. Макарова,
Ж.В. Чиркова**

Научный руководитель – **Ж.В. Чиркова**, д-р хим. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

*Проведено исследование аминолита хромено[4,3-*d*]пиримидин-2,5-дионов. Установлено, что реакция раскрытия лактонового цикла возможна только при обработке хроманов гидразингидратом.*

***Ключевые слова:** пиримидиноны, гексагидрохромено[4,3-*d*]пиримидиноны, гидразингидрат, карбогидразиды*

AMINOLYSIS OF CHROMENO[4,3-*d*]PYRIMIDINE-2,5-DIONES

**M.S. Shalabanova, N.A. Bogdanova, E.S. Makarova,
Zh.V. Chirkova**

Scientific Supervisor – **Zh.V. Chirkova**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

*The aminolysis of chromeno[4,3-*d*]pyrimidine-2,5-diones was studied. It has been established that the opening reaction of the lactone ring is possible only when chromanes are treated with hydrazine hydrate.*

***Keywords:** pyrimidinones, hexahydrochromeno[4,3-*d*]pyrimidinones, hydrazine hydrate, carbohydrazides*

Замещенные гидразиды являются важными биологически активными структурами в фармакологии [1-4], применяемыми как антибактериальные, нейролептические препараты и др. Они проявляют свойства стимуляторов роста, а также используются в сельском хозяйстве в качестве гербицидов. Кроме того гидразиды, в частности гидразиды пиримидинов, представляют интерес как «билдинг блоки» для получения более сложных соединений. Следует также отметить, что содержащие гидрази-

новый фрагмент молекулы относительно редки в природе, однако они были выделены из растений, морских организмов и микроорганизмов.

Из литературы известно, что хроман-2-оны образуют продукты аминоллиза при обработке аммиаком или активными аминами, а при взаимодействии с гидразинами образуют соответствующие гидразиды, однако гидразиды на основе насыщенного пиримидинового цикла с фрагментом резорцина в 6-положении неизвестны. По этой причине представляло интерес исследовать реакцию аминоллиза гексагидрохромено[4,3-*d*]пиримидинов и изучить строение образующихся продуктов.

В качестве модельного соединения использовалась структура **1a**, взаимодействующая с различными аминирующими агентами **2** (аммиаком, алифатическими аминами, гидразингидратом, фенилгидразином) (схема 1).

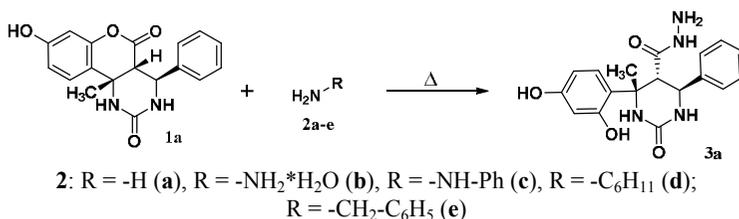


Схема 1

Взаимодействие реагентов **1a** и **2** осуществлялось в различных растворителях в диапазоне температур 78-150 °С без использования специфических катализаторов. Было установлено, что взаимодействие пиримидинона **1a** с аминирующими агентами **2(a, c-e)** даже при длительном нагревании при высоких температурах не приводило к образованию целевых продуктов либо наблюдалось осмоление исходных соединений. Лишь с гидразингидратом **2b** при использовании изопропилового спирта в качестве растворителя был получен целевой карбогидразид **3a**.

В качестве объектов дальнейшего исследования были использованы (4*R**,4*aS**,10*bR**)-хромено[4,3-*d*]пиримидины **1a-d**, полученные по методике [5]. Реакция указанных соединений с гидразингидратом **2b** протекала в гетерофазе и завершалась за 0.5-1.0 ч (схема 2). В качестве растворителя был выбран изопропиловый спирт, так как целевой продукт был мало растворим в нем даже при кипении. Выход целевых карбогидразидов **3a-d** достигал 91-98%.

Строение синтезированных соединений **3a-d** было подтверждено совокупностью данных ИК- и ЯМР- спектроскопий (в том числе двумерной корреляционной NOESY), а также масс-спектрометрий.

В масс-спектрах под действием электронного удара для соединений **3a-d** обычно не наблюдался молекулярный ион, а лишь фиксировался с низкой интенсивностью ион фрагментации $[M-NH_2NH_2]^+$.

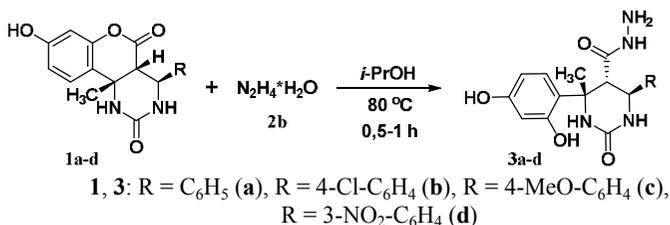


Схема 2

Таким образом, в ходе работы было установлено, что аминолиз (4*R**,4*aS**,10*bR**)-гексагидрохромено[4,3-*d*]пиримидин-2,5-дионов осуществляется лишь в присутствии гидразингидрата, и приводит к образованию замещенных (4*R**,5*S**,6*R**)-2-оксогексагидропиримидин-5-карбогидразидов, строение которых подтверждено совокупностью спектральных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Le Goff G.* Natural hydrazine-containing compounds: Biosynthesis, isolation, biological activities and synthesis / G. Le Goff, J.Ouazzani // *Bioorg. Med. Chem.* 2014. Vol. 22, iss. 23. P. 6529–6544.
2. Negamycin analogue with readthrough-promoting activity as a potential drug candidate for Duchenne muscular dystrophy / A. Taguchi, S. Nishiguchi, M. Shiozuka, T. Nomoto, M. Ina, S. Nojima, R. Matsuda, Y. Nonomura, Y. Kiso, Y. Yamazaki, F.Yakushiji, Y.Hayashi // *ACS Med. Chem. Lett.* 2012. Vol. 3, iss. 2. P. 118-122.
3. Anti-genotoxic hydrazide from *Crinum defixum* / M. Bordoloi, R. Kotoky, J.J. Mahanta, T.C. Sarma, P.B. Kanjilal // *Eur. J. Med. Chem.* 2009. Vol. 44, iss. 6. P. 2754-2757.
4. Crystal structure and properties of the carboxylic acid derivatives of *Schizoneta multifida* / J.T.Liu, J.C. Yu, H.M. Jiang, L.Y. Zhang, X.J. Zhao, S.D.Fan // *Chin. J. Chem.* 2008. Vol. 26, iss. 6. P. 1129-1132.
5. Synthesis of substituted hexahydro-2*H*-chromeno[4,3-*d*]pyrimidine-2,5-diones and their modification at the hydroxy group / E.S. Makarova, M.V. Kabanova, S.I. Filimov, A.A. Shetnev, K.Yu. Suponitsky // *Russ. Chem. Bull.* 2022. Vol. 71, iss. 5. P. 1034-1042.

ПОЛУЧЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ 3,4-ДИГИДРО-2Н-ТИОПИРАНОВ НА ОСНОВЕ α,β -НЕНАСЫЩЕННЫХ КАРБОНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ПРОИЗВОДНЫХ МАЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ

**С.Ю. Шлякова, Е.С. Миронычева, А.В. Колобов,
В.В. Мартазова**

Научный руководитель – **А.В. Колобов**, д-р хим. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Показана возможность синтеза 3,4-дигидро-2Н-тиопиранов на основе гетерореакции Дильса-Альдера α,β -ненасыщенных карбонильных соединений, содержащих в структуре гидроксильную группу с производными малеиновой кислоты в качестве диенофилов.

***Ключевые слова:** 3,4-дигидро-2Н-тиопираны, α,β -ненасыщенные карбонильные соединения, реактив Лавессона, N-арилмалеинимиды*

PREPARATION OF DERIVATIVES OF 3,4-DIHYDRO-2H-THIOPYRANES BASED ON α,β -UNSATURATED CARBONYL COMPOUNDS AND DERIVATIVES OF MALEIC ACID

S.U. Shlyakova, E.S. Mironycheva, A.B. Kolobov, V.V. Martazova

Scientific Supervisor – **A.B. Kolobov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

The possibility of the synthesis of 3,4-dihydro-2H-thiopyranes based on the Diels-Alder α,β -unsaturated carbonyl compounds containing a hydroxyl group with maleic acid derivatives as dienophiles in the structure is shown.

***Keywords:** 3,4-dihydro-2H-thiopyrans, α,β -unsaturated carbonyl compounds, Lawesson's reagent, N-arylmaleinimides*

В настоящее время все больший интерес вызывают исследования в области химии тиопиранов, который связан с их специфическими свойствами, а также с перспективностью их применения [1]. Среди производ-

ных тиопиранов выявлены вещества, обладающие широким спектром биологической активности [2-5]. Поэтому синтез новых производных тиопиранов и их функционализация является актуальной задачей.

Удобным способом получения 3,4-дигидро-2Н-тиопиранов является одnoreакторный синтез на основе гетерореакции Дильса-Альдера α,β -ненасыщенных тиокетонов с различными диенофилами [6]. В качестве тионирующего агента в этом методе используется реактив Лавессона, который обладает хорошей растворимостью в органических растворителях и позволяет проводить синтез в мягких условиях. Ограничением метода является отсутствие в молекулах диена и диенофила нуклеофильных центров: гидроксильных, тиольных и амино-групп, способных образовывать 5- и 6-членные S-, P-содержащие гетероциклы с реагентом Лавессона [6].

Нами показано, что 3,4-дигидро-2Н-тиопираны могут быть получены на основе диенов с защищенной гидроксильной группой. Защиту ОН-группы проводили о-ацилированием α,β -непредельных кетонов **3a,b** ангидридом уксусной кислоты в присутствии ацетата натрия. α,β -Ненасыщенные карбонильные соединения **3(a-c)**, были получены взаимодействием салицилового альдегида с ацетофенонами **2(a-c)** в водно-спиртовом растворе щелочи (реакция Кляйзена-Шмидта) с хорошими выходами (схема 1).

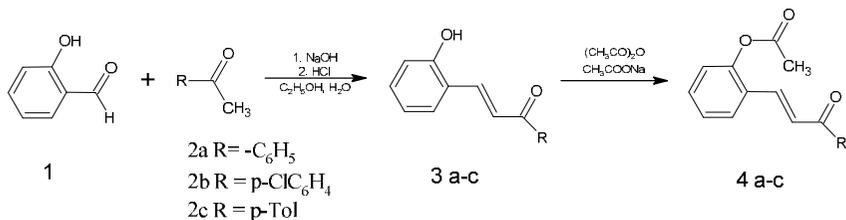


Схема 1

В качестве диенофилов мы использовали имиды малеиновой кислоты. Индивидуальные N-арилмалеинимиды нами были получены в две стадии с промежуточным выделением амидокислоты и последующей внутримолекулярной дегидратацией соответствующих моноамидов малеиновой кислоты этилхлорформиатом в сочетании с триэтиламином в ацетоне при комнатной температуре в течение 30 минут (схема 2). Продукты перекристаллизовывали из изопропилового спирта.

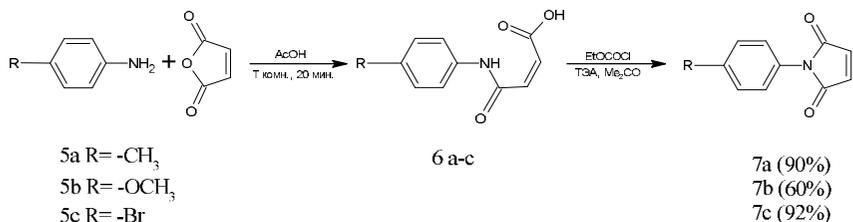


Схема 2

Целевые 3,4-дигидро-2H-тиопираны **8 a,b** были получены взаимодействием α,β -ненасыщенных кетонов, с защищенной ОН-группой с соответствующими имидами малеиновой кислоты в присутствии реактива Лавессона в толуоле при температуре 70-80 °С (схема 3). После отгонки растворителя под вакуумом, продукт обрабатывали диэтиловым эфиром и очищали флеш-хроматографией раствора в хлористом метиле

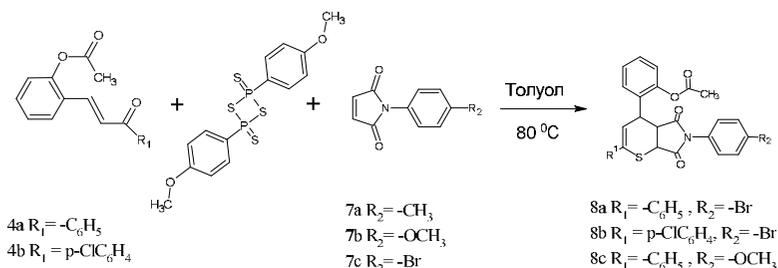


Схема 3

Использование в качестве диенофилов ангидридов малеиновой кислоты по аналогичной методике привело нас к получению продуктов **9 a-b** (схема 4).

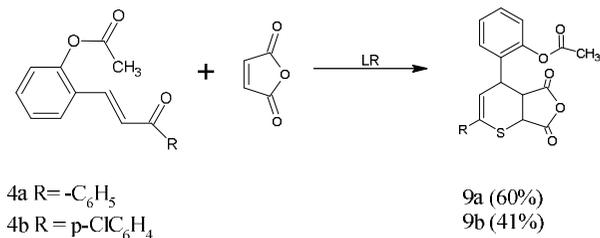


Схема 4

N-арилмалеинимид **7a** был также получен альтернативным способом, в котором замыкание имидного цикла образующейся амидокислоты происходит в присутствии *p*-толуолсульфоновой кислоты в смеси ДМФА и толуола и последующей азеотропной отгонкой воды (схема 5). Выход по этой методике целевого продукта **7a** составил 60%, но согласно данным ВЭЖХ, целевой продукт содержал примеси амидокислоты.

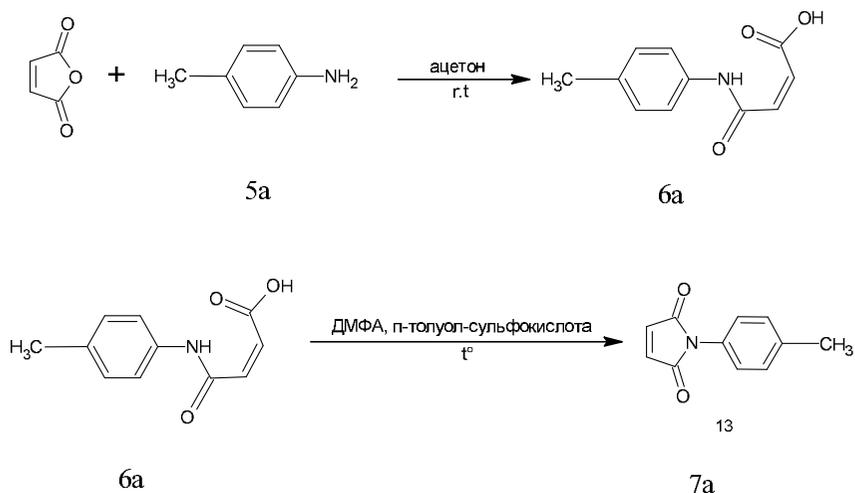


Схема 5

Попытка осуществить синтез 3,4-дигидро-2H-тиопиранов взаимодействием диена **4a** со смесью имида малеиновой кислоты **7a** и соответствующего амида приводила нас к образованию смеси двух продуктов, не поддающихся разделению (схема 6). В ЯМР ¹H-спектрах присутствовали две группы сигналов. Одна соответствовала продукту **8d** (две метильные группы одинаковой интенсивности и др.). Другая группа по спектрам соответствует соединению, не имеющему ацетильной группы – предположительно соединению **10a**. В ИК-спектрах соединения **10a** отсутствовали характеристические полосы – OH-группы.

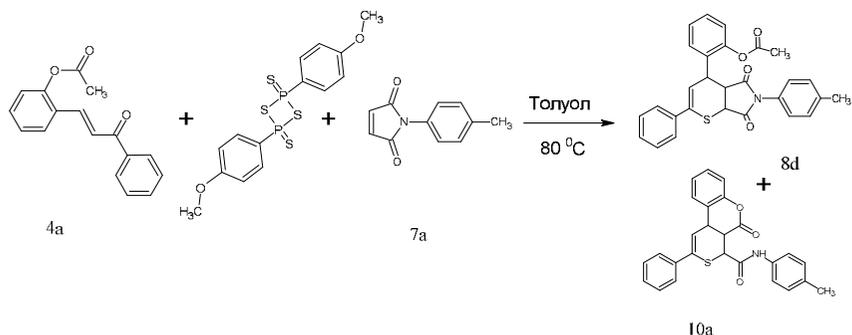


Схема 6

Чистота и строение всех синтезированных соединений подтверждены методами ТСХ, ВЭЖХ, ИК-спектроскопии, ЯМР ¹H спектроскопии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Upconversion NIR-II fluorophores for mitochondria-targeted cancer imaging and photothermal therapy / Hui Zhou, Xiaodong Zeng, Anguo Li, Wenyi Zhou [et al.] // Nature Communications. 2020. Vol/ 11(1). 6183.
2. Crotonic, cinnamic and propiolic acids motifs in the synthesis of thiopyrano[2,3-d][1,3]thiazoles via hetero-Diels-Alder reaction and related tandem processes / N. Zelisko, D. Atamanuk, O. Vasylenko [et. al.] // Tetrahedron. 2014. Т. 70, № 3. С. 720-729.
3. Пат. № 2670977 RU, МПК C07D 335/02, C07D 335/04, C07D 409/04. Способ получения производных 3,4-дигидро-2H-тиопирана: № RU 2018112934; заявл. 2018.04.09; опубл. 2018.10.26 / Меркулова Е.А., Колобов А.В., Овчинников К.Л.
4. ACAT inhibitors derived from hetero-Diels-Alder cycloadducts of thioaldehydes / R.G. Wild, J.T. Billheimer, S.J. Germain, E.A. [et al.] // Bioorg. Med. Chem. 1996. Vol. 4, № 9. P.1493-1513.
5. Priyadarshini Mishra. Access to chromone-3-carboxylic acid via silver mediated coupling of 4-hydroxy coumarin and enol ester / Priyadarshini Mishra, Nayim Sepay, Niranjan Panda // Tetrahedron Letters. 2021. Vol. 75. P. 1-5.
6. Меркулова Е.А. Синтез, структура и свойства соединений ряда 3,4-дигидро-2H-тиопирана: автореф. ... канд. хим. наук. Москва, 2022. 22 с.

**СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
ВЕЩЕСТВ НА ПРИМЕРЕ (2Z)-4-(4-МЕТИЛАНИЛИНО)-4-
ОКСОБУТ-2-ЕНОВОЙ КИСЛОТЫ**

Ю.Р. Юсифова, Ю.С. Груздева, О.С. Горячева

Научный руководитель – **О.С. Горячева**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Осуществлена серия синтезов (2Z)-4-(4-метиланилино)-4-оксобут-2-еновой кислоты. Определена температура плавления полученных образцов. Полученные образцы исследованы методами ИК-спектроскопии и ЯМР ¹H. Анализ полученных данных показал, что образцы полностью соответствуют структурной формуле (2Z)-4-(4-метиланилино)-4-оксобут-2-еновой кислоты. Выход продукта составил от 93 до 97 %.

Ключевые слова: (2Z)-4-(4-метиланилино)-4-оксобут-2-еновая кислота, температура плавления, подлинность, ИК-спектроскопия, ядерный магнитный резонанс

**SPECTRAL ANALYSIS OF BIOLOGICALLY ACTIVE
SUBSTANCES USING THE EXAMPLE
OF (2Z)-4-(4-METHYLANILINO)-4-OXOBUT-2-ENOIC ACID**

Yu.R. Yusifova, Yu.S. Gruzdeva, O.S. Goryacheva

Scientific Supervisor – **O.S. Goryacheva**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

A series of syntheses of (2Z)-4-(4-methylanilino)-4-oxobut-2-enoic acid has been carried out. The melting point of the obtained samples was determined. The obtained samples were examined by IR spectroscopy and NMR ¹H methods. Analysis of the obtained data showed that the samples fully correspond to the structural formula (2Z)-4-(4-methylanilino)-4-oxobut-2-enoic acid. The product yield ranged from 93 to 97%.

Keywords: (2Z)-4-(4-methylanilino)-4-oxobut-2-enoic acid, melting point, authenticity, IR spectroscopy, nuclear magnetic resonance

Объектом исследования является (2Z)-4-(4-метиланилино)-4-оксобут-2-еновая кислота. Вещество представляет интерес как основа для получения новых гетероциклических соединений, обладающих флуоресцентными, гербицидными, инсектицидными свойствами, и в качестве потенциального мономера в полимерной промышленности [1, 2].

Известным и самым простым методом получения (2Z)-4-(4-метиланилино)-4-оксобут-2-еновой кислоты является реакция между *n*-толуидином и малеиновым ангидридом [1, 3].

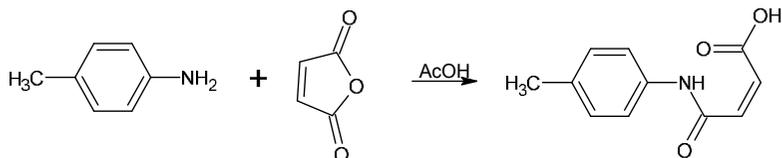


Схема 1. Получение (2Z)-4-(4-метиланилино)-4-оксобут-2-еновой кислоты

Серия синтезов была проведена с целью последующей разработки методики количественного потенциометрического анализа.

К раствору 20 г малеинового ангидрида в 50 см³ ледяной уксусной кислоты при интенсивном перемешивании и охлаждении на водяной бане постепенно был добавлен раствор соответствующего первичного амина в 60 см³ ледяной уксусной кислоты. В процессе прибавления из реакционной смеси выпадал продукт в виде светло-желтого осадка. После окончания прибавления смесь выдерживали 20 минут при комнатной температуре и интенсивном перемешивании, затем осадок отфильтровывали на фильтре Шотта, промывали ледяной уксусной кислотой и небольшим количеством этилового спирта на фильтре.

Выход продукта реакции получения (2Z)-4-(4-метиланилино)-4-оксобут-2-еновой кислоты составляет от 93,0 до 97,0 %.

Интервалы температуры плавления были получены на приборе Electrothermal IA 9300 Series и представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты полученных температур плавления

№ опыта	$T_{пл}$ (справочная), °C	$T_{пл}$ (лабораторная), °C	Выход продукта, %
1	193,0	191,4–191,9	97,0
2		188,4–189,3	95,5
3		186,9–188,1	93,0
4		188,0–189,0	94,0

Анализ данных табл. 1 показывает, что температура плавления у всех образцов ниже, чем литературные данные. Так как выход продукта составил не 100%, то можно предположить, что в составе продукта остались не прореагировавшие исходные вещества.

По своей визуальной структуре соединение представляет кислоту, в составе которой есть группа -NH-, которая влияет на кислотные свойства соединения.

ИК-спектры снимали с использованием прибора FT-IR Spectrometer (SPECTRUM-TWO) фирмы «Perkin Elmer» по методу нарушенного полного внутреннего отражения в области от 4000 до 400 см⁻¹.

Интерпретация полученных ИК-спектров представлены в табл. 2 [4].

Таблица 2. ИК-спектроскопия образцов (2Z)-4-(4-метиланилино)-4-оксобут-2-еновой кислоты

Характерные полосы поглощения	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Интервал значений
Связанная транс-(-NH-)	3284,52 см ⁻¹	3284,94 см ⁻¹	3284,87 см ⁻¹	3284,78 см ⁻¹	3330-3070 см ⁻¹
Связанная группа OH	2667,9 см ⁻¹	2663,3 см ⁻¹	2601,2 см ⁻¹	2632,54 см ⁻¹	3300-2500 см ⁻¹
Колебание C=O (кислоты)	1695,94 см ⁻¹	1695,50 см ⁻¹	1695,38 см ⁻¹	1695,77 см ⁻¹	2880-2650 см ⁻¹
Колебание I амид C=O	1632,32 см ⁻¹	1632,26 см ⁻¹	1631,54 см ⁻¹	1631,80 см ⁻¹	1650-1620 см ⁻¹
Деформационное колебание II амид C=O	1529,00 см ⁻¹	1529,00 см ⁻¹	1529,00 см ⁻¹	1527,48 см ⁻¹	1630-1510 см ⁻¹
Колебание бензольного кольца	1505,49 см ⁻¹	1504,87 см ⁻¹	1504,66 см ⁻¹	1504,56 см ⁻¹	1525-1475 см ⁻¹
Колебание транс- (CH=CH)	969,79 см ⁻¹	969,70 см ⁻¹	969,59 см ⁻¹	969,51 см ⁻¹	990,0-960,5 см ⁻¹
Деформационное колебание OH	942,35 см ⁻¹	942,44 см ⁻¹	942,53 см ⁻¹	942,48 см ⁻¹	955-890 см ⁻¹
1,4-замещение Ag	811,58 см ⁻¹	811,09 см ⁻¹	810,89 см ⁻¹	810,68 см ⁻¹	860-800 см ⁻¹

Данные ИК-спектроскопии показывают, что все серии синтеза имеют идентичные характерные полосы поглощения.

Спектры ЯМР¹H записывали на «BrukerMSL-300» с рабочей частотой 300 МГц. Данные ЯМР¹H соответствуют полученным ранее [1].

ЯМР ¹H (δ, м.д.; J, Гц): 6.24 (1H, д, J = 12.2), 6.92 (1H, д, J = 12.1), 7.45 (2H, д, J=7.7), 10.25 (1H, с), 13.31 (1H, с).

Таким образом, полученный из серии четырех синтезов образец пригоден для дальнейшего использования для разработки методики количественного анализа этого соединения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рожков С.С.* Синтез реакции азотсодержащих производных малеиновой кислоты и гетероциклических соединений на их основе: дис. ... канд. хим. наук / Рожков Сергей Сергеевич; Ярославский государственный технический университет. Ярославль, 2014. 133 с.
2. *Зорина А.В.* Об особенностях взаимодействия *N*-арилмалеинимидов с 2-аминофенолом / А.В. Зорина, А.В. Фалалеев, Х.С. Шихалиев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2008. № 2. С. 29-31.
3. *Mona M. Fahmy.* Mohamed Novel Antimicrobial Organic Thermal Stabilizer and Co-Stabilizer for Rigid PVC / Mona M. Fahmy, Riham M. Mohamed, Nadia A. Mohamed // *Molecules*. 2012. № 17(7). С. 7927-7940.
4. *Преч Э.* Определение строения органических соединений: таблицы спектральных данных: пер. с англ. / Э. Преч, Ф. Бюльманн, Аффольтер. М.: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 438 с.

**СЕКЦИЯ
«ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ И ПОКРЫТИЯ»**

УДК 54-1:691.175

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУР ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ
ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ
КАЛОРИМЕТРИИ**

И.И. Ахметова, К.Г. Кичатов, Т.Р. Просочкина

Научный руководитель – **К.Г. Кичатов**, канд. хим. наук, доцент

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Выполнен сравнительный анализ определения температур фазовых переходов полиэтилена высокого давления на дифференциально-сканирующем калориметре при одном и двух температурных циклах с целью исключения погрешностей при определении температур плавления и кристаллизации.

***Ключевые слова:** полиэтилен высокого давления, температура плавления, калориметрия*

**COMPARISON OF PHASE TRANSITION TEMPERATURES
OF HIGH-PRESSURE POLYETHYLENE BY DIFFERENTIAL
SCANNING CALORIMETRY METHOD**

I.I. Akhmetova, K.G. Kichatov, T.R. Prosochkina

Scientific Supervisor – **K.G. Kichatov**, Candidate of Chemical
Sciences, Associate Professor

Ufa State Petroleum Technical University

A comparative analysis of phase transition temperatures of high-pressure polyethylene on a differential-scanning calorimeter at one and two temperature cycles was performed in order to exclude errors in determining melting and crystallization temperatures.

***Keywords:** high-pressure polyethylene, melting point, calorimetry*

Калориметрия – это метод измерения количества теплоты, которая сопровождается химические, физические и биологические процессы. С помощью этих методов определяют теплоемкости тел, теплоты фазовых переходов и так далее [1].

Одной из наиболее важных задач калориметрии является исследование процесса плавления полимера. Плавление является эндотермическим процессом. Для типичных низкомолекулярных соединений плавление происходит при определенной температуре и характеризуется величиной энтальпии плавления, которые являются константами для данного соединения. Но для кристаллического полимера ни энтальпия, ни температура плавления не являются постоянными величинами. Это объясняется тем, что полимеры, которые представляют собой смесь макромолекул различной молекулярной массы, имеют частичную кристалличность и образуют структуры, которые имеют различную степень упорядочения [2].

Проведены исследования по определению температуры плавления полиэтилена высокого давления (ПВД) марки 18030-020 по ГОСТ 16337-77 с изм. 1-3 на дифференциально-сканирующем калориметре (ДСК).

Эксперимент проводился при одном температурном цикле (охлаждение-нагрев) и при двух температурных циклах (охлаждение-нагрев-охлаждение-нагрев).

Цели эксперимента:

1. Определить экспериментальную температуру плавления ПВД 18030-020 и сравнить со справочной;
2. Определить, зависит ли результат эксперимента от количества температурных циклов.

Известно, что для полимеров температуры фазовых переходов (стеклование, кристаллизация, плавление) являются не постоянной величиной, поскольку зависят от упорядоченности структуры макромолекул, молекулярной массы, молекулярно-массового распределения, наличия добавок и т.д. В связи с этим, значения температур изменяются не только от марки к марке полимера, но и также для одной марки полимера от партии к партии. В связи с тем, что температура плавления является одной из основных характеристик, влияющих на технологический режим переработки полимера, точное определение ее значения является актуальной задачей.

Исходные данные проведения эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные

Марка ПВД	Один температурный цикл		Два температурных цикла	
	$m_{\text{пустой тигель}}, \text{ МГ}$	$m_{\text{образец}}, \text{ МГ}$	$m_{\text{пустой тигель}}, \text{ МГ}$	$m_{\text{образец}}, \text{ МГ}$
ПВД 18030-020	40,0	9,2	40,3	9,4

Термограммы ПВД 10803-020 при одном и двух температурных циклах приведены на рис. 1 и 2 соответственно.

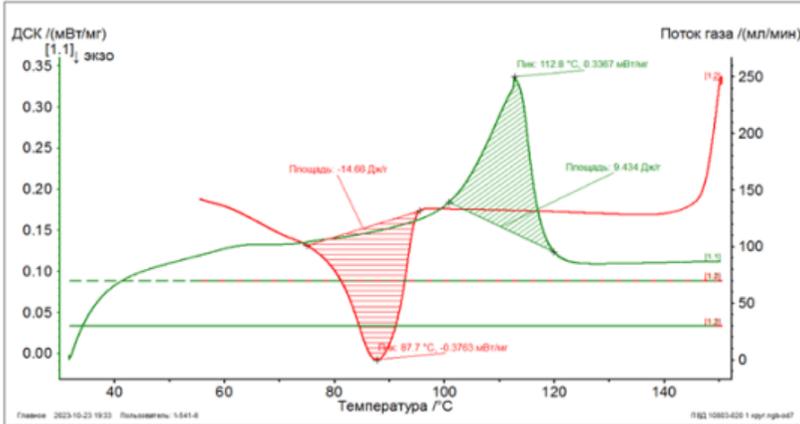


Рис. 1. Термограмма ПВД 10803-020 при одном температурном цикле

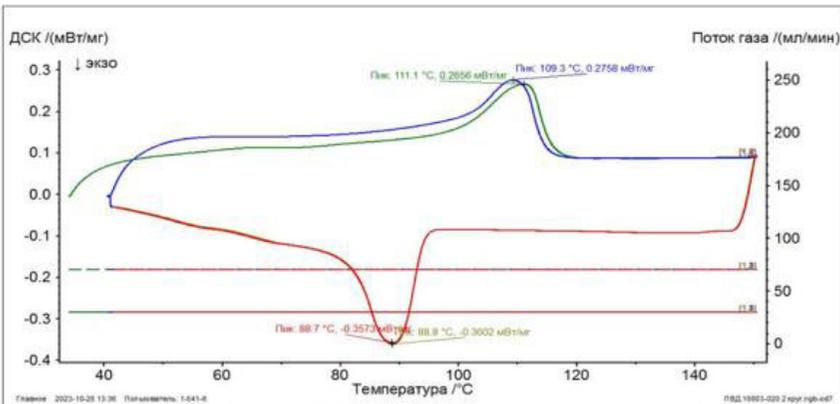


Рис. 2. Термограмма ПВД 10803-020 при двух температурных циклах

Таблица 2. Полученные экспериментальные данные

Марка ПВД	Один температурный цикл	Два температурных цикла
	$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	$T_{пл}, ^\circ\text{C}$
ПВД 18030-020	112,8	111,1 109,3

Теоретическая температура плавления полиэтилена высокого давления (табл. 2) составляет 100-115 °С. Полученные путем обработки термограмм экспериментальные значения температуры плавления полиэтилена соответствуют экспериментальным данным.

Разница в температурах плавления при проведении эксперимента при разных температурных циклах составляет ~2 °С, поэтому можно сделать вывод о том, что целесообразно проводить эксперимент при одном температурном цикле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Махров В.В.* Калориметрия / Большая российская энциклопедия. Т. 12. Москва, 2008. 546 с.
2. *Mettler Toledo.* Дифференциально-сканирующая калориметрия. Приборы дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) для научно-исследовательских разработок. URL: https://www.mt.com/ru/ru/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/TA_Family_Browse/DSC.html

КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОЕ АНТИПРИГАРНОЕ ПОКРЫТИЕ

Д.О. Бакунин, М.И. Бурцев, А.А. Ильин

Научный руководитель – А.А. Ильин, д-р хим. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Изучено влияние количества отвердителя (3-аминопропилтриэтоксисилана) на жизнеспособность полиметилфенил-силоксановой смолы и свойства отвержденных покрытий. Установлено, что лучшее сочетание свойств: твердости, прочности при ударе, эластичности и адгезии покрытий, а также жизнеспособности готовой к применению композиции наблюдается при введении в смолу 0,5% мас. отвердителя.

Ключевые слова: полиметилфенилсилоксановая смола, 3-аминопропилтриэтоксисилан, физико-механические свойства

ORGANOSILICONIC NON-STICK COATING

D.O. Bakunin, M.I. Burtsev, A.A. Ilyin

Scientific Supervisor – A.A. Ilyin, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

The effect of the amount of hardener (3-aminopropyltriethoxysilane) on the pot life of polymethylphenylsiloxane resin and the properties of cured coatings was studied. It has been established that the best combination of properties: hardness, impact strength, elasticity and adhesion of coatings, as well as the viability of the ready-to-use composition is observed when 0.5 wt.% of hardener added to the resin.

Keywords: polymethylphenylsiloxane resin, 3-aminopropyltriethoxysilane, physical and mechanical properties

Кремнийорганические композиционные материалы демонстрируют уникальное сочетание противокоррозионных, термостойких, электроизоляционных и др. свойств [1, 2]. Кремнийорганические покрытия широко используются в пищевой промышленности в качестве консервационных лаков [2].

Цель настоящей работы – исследование возможности использования кремнийорганической композиции в качестве антипригарного покрытия для выпечки вафель.

Объектом исследования служила полиметилфенилсилоксановая смола в органических растворителях, полученная гидролитической конденсацией фенилтрихлорсилана и диметилдихлорсилана с последующей полимеризацией. В качестве отвердителя смолы использовали 3-аминопропилтриэтоксисилан (продукт АГМ-9) в диапазоне концентраций от 0 до 8% мас.

Смола и отвердитель смешивались и наносились на стальные пластины аппликатором. Время выдержки окрашенных пластин перед отверждением составляло 30 мин. Отверждение проводили в сушильном шкафу при температуре 220 °С в течение 30 мин. Толщина отвержденной пленки составляла 30-40 мкм.

По ходу выполнения работы количественно оценивались жизнеспособность готовой к применению композиции (смола + отвердитель); твердость [3], прочность при ударе [4], эластичность [5] и адгезия [6] сформированных покрытий.

В первую очередь было установлено, что данная кремнийорганическая смола без отвердителя формирует покрытие при температурах выше 220 °С (время отверждения при 220 °С составляет 30 минут). Однако отвержденная пленка на стальных пластинах представляет собой термопластичное покрытие, которое при повторном нагреве до 220 °С становится вязкотекучим. Поэтому покрытие, сформированное без отвердителя, не может служить антипригарным для выпечки вафель.

Свойства готовой к применению композиции и сформированных покрытий приведены в таблице.

Установлено, что с ростом содержания отвердителя в композиции экстремально возрастает твердость и прочность при ударе покрытий, уменьшается эластичность отвержденной пленки и жизнеспособность готовой к применению композиции. При этом адгезия покрытий остается на высоком уровне для всех покрытий.

Из приведенных данных (таблица 1) можно выделить покрытие, сформированное при содержании отвердителя 0,5% мас. Данное покрытие имеет максимальную твердость, прочность на удар, хорошую эластичность и др. показатели. Оно может служить основой для получения антипригарного покрытия.

**Таблица 1. Свойства готовой к применению композиции
и сформированных покрытий**

Отвердитель, % масс	Твердость, отн. ед.	Прочность при ударе, см	Эластичность, мм	Жизнеспособ- ность, мин	Адгезия, балл
0	0,25	5	5	-	0
0,3	0,55	5	5	-	0
0,4	0,52	5	5	-	0
0,5	0,58	10	5	60	0
0,6	0,49	10	20	-	0
0,7	0,52	10	20	-	0
1,0	0,32	5	10	45	0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Моцарев Г.В.* Карбофункциональные органосиланы и органосилоксаны / Г.В. Моцарев, М.В. Соболевский, В.Р. Розенберг. М., 1990.
2. Композиционные материалы на основе кремнийорганических соединений / Э.Д. Усманова, А.С. Парсанов, Д.З. Галимов, А.А. Мансурова, Л.Р. Габидуллина // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, №14. С.62-64.
3. ГОСТ 5233-89. Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости по маятниковому прибору.
4. ГОСТ 4765-73. Материалы лакокрасочные. Метод определения прочности при ударе.
5. ГОСТ 31974-2012. Материалы лакокрасочные. Метод определения прочности покрытия при изгибе вокруг цилиндрического стержня.
6. ГОСТ 31149-2014. Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза.

УДК 678.7

МЕТИЛИРОВАНИЕ КАРБОКСИЛИРОВАННОГО ПОЛИДИЕНА

Е.А. Балужева, Л.С. Татаринова, А.В. Комин

Научный руководитель – **А.В. Комин**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проведено метилирование карбоксилсодержащих полимеров диенов диазометаном. Установлена степень превращения карбоксильных групп в сложноэфирные.

***Ключевые слова:** карбоксилсодержащие полимеры, метилирование, молекулярная масса*

METHYLATION OF CARBOXYLATED POLYDIENE

E.A. Balueva, L.S. Tatarinova, A.V. Komin

Scientific Supervisor – **A.V. Komin**, Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Methylation of carboxyl-containing diene polymers with diazomethane was carried out. The degree of conversion of carboxyl groups into ester groups was determined.

***Keywords:** carboxyl-containing polymers, methylation, molecular weight*

Карбоксилсодержащие полимеры имеют огромную сферу применения. Полимеры акриловой и метакриловых кислот используют в виде адсорбентов водных сред в средствах личной гигиены, в качестве стабилизаторов и флокулянтов дисперсных систем, структурообразователей и загустителей, связующих, антистатиков, для получения интерполимерных комплексов, в сельском хозяйстве и медицине. Соли полиакриловой кислоты обладают гемостатическими свойствами и используются как кровоостанавливающий препарат местного действия известный под названием «Феракрил». Наличие в составе макромолекул карбоксилсодержащих сополимеров гидрофобных звеньев или выраженных гидрофобных фрагментов придает сополимерам ряд уникальных свойств, например, таких

как рН-зависимое набухание и растворение, способность образовывать надмолекулярные ассоциаты в водных и органических средах, солюбилизировать в водных средах маслорастворимые вещества. Кроме этого, улучшаются пленкообразующие свойства. Это открыло широкие возможности их практического применения. Большое значение такие сополимеры получили в медицине и фармацевтике, например для создания твердых лекарственных форм с рН-зависимым высвобождением активной фармацевтической субстанции. Одними из характеристик полимеров, во многом определяющие его свойства и возможность применения являются молекулярная масса и молекулярно-массовое распределение. Существует ряд методов, позволяющих с той или иной точностью определить эти характеристики полимеров. Наиболее распространенными в настоящее время являются метод вискозиметрии, светорассеяния, гель-проникающей хроматографии. Определяемая молекулярная масса является функцией пространственных размеров единичных макромолекул в соответствующих условиях определения. Зачастую при синтезе сополимеров методами сополимеризации или химических превращений образующийся продукт характеризуется композиционной неоднородностью как по молекулярной массе, так и по составу. В случае карбоксилсодержащих сополимеров это является значительной проблемой при определении их молекулярно-массовых характеристик. Поскольку конформационное состояние макромолекул, размеры макромолекул определяются не только молекулярной массой, но и составом. Следовательно, значения определенной молекулярной массы будут характеризоваться весьма значительной неопределенностью. Подобная проблема возникает и при использовании достаточно современного метода определения молекулярной массы полимеров – метода матрично-активированной лазерной десорбции/ионизации (МАЛДИ) [1]. В настоящее время проблему решают путем предварительной химической модификации полимеров, а именно путем полимераналогичных превращений карбоксильных групп сополимеров перед определением молекулярной массы. В результате образуются гомополимеры или сополимеры, не имеющих выраженных амфифильных свойств, с сохранением молекулярно-массовых характеристик исходных продуктов. Давно известен метод, позволяющий переводить карбоксильные группы полимера в сложноэфирные. Метод заключается в метилировании карбоксильных групп. Вариант его практической реализации приведен, например, в работе Григорьевой А.О. [2]. Для определения молекулярно-массовых характеристик синтезированных нами карбоксилсодержащих полимеров решено использовать этот известный подход. Однако возникает вопрос об универсальности методики [2]. Какова степень превращения карбоксильных групп в каждом конкретном случае использования методики [2] и, в частности, для сополимеров синтезированных в

настоящей работе? Изучение этого вопроса и явилось целью настоящей работы. Для достижения цели синтезированы карбоксилсодержащие сополимеры с различным содержанием карбоксильных групп, проведено их метилирование. Методом алкалиметрического титрования изучено содержание карбоксильных групп полимеров до и после их метилирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Analytical strategy for the molecular weight determination of random copolymers of poly(methyl methacrylate) and poly(methacrylic acid) / R. Giordanengo, S. Viel, M. Hidalgo, B. Allard-Breton, A. Thévand, L. Charles // Journal of the American Society for Mass Spectrometry. 2010. Vol. 21(6). P. 1075-1085. DOI: 10.1016/j.jasms.2010.02.007.
2. Григорьева А.О. Контролируемый синтез и поверхностные свойства амфифильных сополимеров на основе фторированных (мет)акрилатов: дис. ... канд. хим. наук. Нижний Новгород, 2023. 131 с.

**ГИБКИЕ ПЛОСКОСВОРАЧИВАЕМЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ
РУКАВА, АРМИРОВАННЫЕ СИНТЕТИЧЕСКИМИ
ВОЛОКНАМИ С ПОЛИУРЕТАНОВЫМ СВЯЗУЮЩИМ:
НАЗНАЧЕНИЕ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, УСТРОЙСТВО**

Д.А. Буланов, С.Г. Степанов

Ивановский государственный политехнический университет

Рассматривается конструкция и области применения гибких плоскосворачиваемых трубопроводных систем основанных на рукаве из синтетических волокон с полиуретановым связующим.

***Ключевые слова:** композитные рукава, гибкие плоскосворачиваемые, композитные системы*

FLEXIBLE FLAT-TURN COMPOSITE SLEEVES REINFORCED WITH SYNTHETIC FIBERS WITH POLYURETHANE BINDER: PURPOSE, CHARACTERISTICS, DEVICE

D.A. Bulanov, S.G. Stepanov

Ivanovo State Polytechnic University

The design and applications of flexible flat-mounted pipeline systems based on a sleeve made of synthetic fibers with a polyurethane binder are considered.

***Keywords:** composite sleeves, flexible flat-turnable, composite systems*

Мобильные трубопроводные системы на основе гибких плоскосворачиваемых рукавов (ГПР), основанные на бесшовном армирующем каркасе из синтетических нитей с полиуретановым связующим служат для передачи нефти с мест добычи, в том числе, по сложному рельефу (рис.1), устройства дублирующих магистралей на время ремонта трубопроводов, организации водопроводов, промышленных трубопроводов для орошения полей и других сельскохозяйственных нужд [1].

ГПР также нашли применение в горнодобывающей отрасли, для перекачки воды с песком и другими смесями из мелких фракций, подачи воды при разработке месторождений, а также водоотведения и водоснабжения на рабочих местах.

Трубопроводные системы на основе ГПР применяются для бункеровки судов в условиях необорудованного пирсом побережья, а также в

зимний период, располагая рукава по льду без применения опор, как того требуют металлические трубы.

Сферы применения мобильных трубопроводов на основе ГПР в ближайшем будущем будут только расти.



Рис. 1 Транспортировка нефтепродуктов с помощью мобильной трубопроводной системы

На данный момент диаметр рукава может составлять до 400 мм, рабочее внутренне давление до 60 Бар; диапазон рабочих температур соответствует от -60 до $+80$ °С, длина одного участка рукава до соединения может составлять до 200 метров.

Перекачиваемые среды: вода, сырая нефть, нефтепродукты, растворы кислот и щелочей и др. [1].

Основные технико-экономические показатели, преимущества мобильной трубопроводной системы на основе ГПР перед конкурентами:

- ГПР могут работать в самых трудных погодных условиях, в соленой морской воде, в условиях воздействия солнечной радиации;
- ГПР могут применяться в сейсмоопасных районах; в сыпучих грунтах, в лесистой местности и в районах со сложным рельефом, а также пролегать через болотистую местность, пересекать естественные водные преграды;
- трубопроводы обладают высокой устойчивостью к повреждениям и многократным изгибам;
- развертывание рукавов не требует специального обучения обслуживающего персонала;
- ГПР обладают компактностью при транспортировке (рис. 2), относительно малым весом; остатки продукта автоматически удаляются при свертывании;
- остатки продукта автоматически удаляются при свертывании рукава;
- высокая производительность ГПР относительно больших диаметров. Один композитный рукав диаметром 400 мм (рис. 3) может заме-

нить около 10 параллельных линий металлических трубопроводов диаметром 150 мм;

- относительно большая длина секций, которая составляет 200 метров, имеет малое количество соединений, что снижает риск протечек продукта;
- огромный плюс мобильных трубопроводных систем – это скорость развертывания, которая достигает 5-10 км/ч.



Рис. 2. Компактность ГПР при транспортировке и хранении



Рис. 3. ГПР диаметром 400 мм в бухте

ГПР изготавливаются методом продавливания расплавленного полиуретана температурой 200 °С через тканый армирующий каркас, в процессе которого заполняется пространство между нитями и образуется внутренний и наружный защитный слой [2].

Армирующий тканый каркас несет практически всю нагрузку от воздействия жидкости и обеспечивает высокое рабочее давление трубопровода благодаря бесшовной трубчатой конструкции, а полиуретан обеспечивает герметичность, сопротивление коррозии, износостойкость, маслостойкость, устойчивость к химическому, физическому, эрозии, гидролизу и ультрафиолетовому излучению [1].

Рукав состоит из трех слоев (рис. 4) внутренний слой представляет собой тканый армирующий каркас из синтетических нитей, наружный и внутренний слои выполнены из термопластичного полиуретана [2].

А и С – внутренний и наружный слой из полиуретана; В – армирующий тканый каркас; D – антистатический провод.

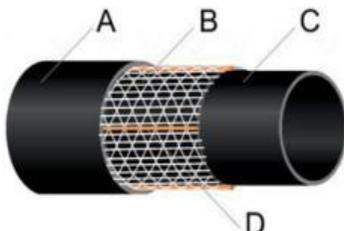


Рис. 4. Конструкция ГПР

Указанные выше преимущества мобильных трубопроводных систем на основе ГПР послужили причиной существенного увеличения их производства в мире в последние годы. В настоящее время производители освоили выпуск данных изделий под давлением до 200 атм.

Решение актуальной проблемы по расчету, проектированию и производству ГПР под особо высокие давления (до 1000 атм), представляющей собой сложную научную и технологическую задачу, приведет к резкому увеличению производительности трубопроводных систем и расширению сферы их применения [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бахарев Б.А.* Мобильные плосковорачиваемые трубопроводные системы: расчет, проектирование / Б.А. Бахарев, С.Г. Степанов // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX–2017): сб. матер. XIX междунар. науч.-техн. форума. Иваново. 2017. С. 78-80.
2. *Степанов С.Г.* Мобильные плосковорачиваемые трубопроводные системы на основе композитов из синтетических нитей и уретановых связующих: назначение, устройство, проблемы проектирования и изготовления / С.Г.Степанов, Б.А. Бахарев // Ключевые тренды в композитах: наука и технологии: сб. материалов междунар. конференции по композитам. М., 2019. С. 713-719.
3. *Степанов С.Г.* Назначение, характеристики, конструкции, проблемы расчета, проектирования и изготовления мобильных плосковорачиваемых трубопроводных систем на основе композитов из тканых армирующих каркасов и полиуретановых связующих / С.Г. Степанов, Б.А. Бахарев // Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения: сб. материалов XVI междунар. науч.-практ. конференции. Нальчик: Издательство «Принт Центр», 2020. С. 421-425.

ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФАТА ЦИНКА В ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ

С.В. Варгасова, А.Е. Терешко

Научный руководитель – **А.Е. Терешко**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрена возможность использования фосфата цинка как противокоррозионного пигмента в водно-дисперсионных лакокрасочных материалах. Определены основные показатели фосфата цинка и условия его совместимости с компонентами водно-дисперсионных лакокрасочных материалов.

***Ключевые слова:** фосфат цинка, противокоррозионный пигмент, водоемкость, дисперсность, маслосодержание*

THE USE OF ZINC PHOSPHATE IN WATER-DISPERSION PAINTS AND VARNISHES

S.V. Vargasova, A.E. Tereshko

Scientific supervisor – **A.E. Tereshko**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The possibility of using zinc phosphate as an anticorrosive pigment in water-dispersion paints and varnishes is considered. The main parameters of zinc phosphate and the conditions of its compatibility with the components of water-dispersion paints and varnishes are determined.

***Keywords:** zinc phosphate, anticorrosive pigment, water capacity, dispersion, oil capacity*

В настоящее время фосфат цинка является одним из самых распространенных и доступных противокоррозионных пигментов и широко применяется благодаря низкой токсичности и невысокой стоимости. Его можно применять как в грунтовках, так и в однослойных покрытиях [1].

В то же время рынок водно-дисперсионных материалов получил широкое распространение и вопрос разработки противокоррозионных материалов на водной основе стоит очень остро.

В связи с этим целью данной работы является исследование возможности применения фосфата цинка в качестве противокоррозионного пигмента в водно-дисперсионных лакокрасочных материалах.

Объектами исследований являлись образцы фосфата цинка (ФЦ) различных производителей и марок: ФЦ производства Китай, ФЦ производства ООО «Химмаш» (Россия), ФЦ кислый (20%) (ФЦК), ФЦ, модифицированный боратом (ФЦБ), ФЦ по ГОСТ 16992-78 (ФЦГ).

Проведены исследования таких свойств фосфата цинка как: маслоемкость, рН водной вытяжки и суспензии, содержание водорастворимых солей, содержание связанной влаги. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1. Свойства образцов фосфата цинка

Показатель	ФЦ производства Китай	ФЦ производства ООО «Химмаш» (Россия)	ФЦК	ФЦБ	ФЦГ
Маслоемкость, г/100 г	37,3	26,3	37	36,9	38,4
рН водной вытяжки	6,965	6,102	4,396	3,920	4,631
рН водной суспензии	8,080	7,708	5,5	4,920	5,456
Содержание солей, %	0,437	0,0872	1,342	2,0325	1,906
Размер частиц, мкм	7,05	8,56	8,71	7,48	7,89
Водоемкость, г/100 г	35,59	51,72	84,75	77,97	127,12

Установлено, что образцы фосфата цинка ФЦ производства Китай и Химмаш имеют нейтральное и близкое к щелочному значение рН, что позволяет получить совместимость с другими компонентами в краске. С помощью метода седиментационной турбидиметрии определена дисперсность фосфата цинка, от которой зависит стабильность лакокрасочного материала и ингибирующее действие пигмента. Найдена водоемкость пигментов, где показано, что ФЦК и ФЦГ имеют наибольшее значение поглощения воды, что является важным показателем при составлении рецептур водно-дисперсионных лакокрасочных материалов [2].

При производстве водно-дисперсионных материалов особое значение имеет наличие в системе ионов, которые могут вызывать снижение агрегативной устойчивости полимерных дисперсий. В связи с этим, мето-

дом турбидиметрического титрования определена концентрация кислотно-основных центров образцов фосфата цинка (таблица 2).

Таблица 2. Содержание кислотных центров в образцах фосфата цинка

Фосфат цинка	Концентрация кислотных центров, моль/г
ФЦГ	$3,39 \cdot 10^{-5}$ $9,55 \cdot 10^{-5}$
ФЦ производства Китай	$19,7 \cdot 10^{-5}$
ФЦК	$9,38 \cdot 10^{-5}$
ФЦБ	$2,04 \cdot 10^{-5}$ $4,46 \cdot 10^{-5}$
ФЦ производства ООО «Химмаш» (Россия)	$11,5 \cdot 10^{-5}$

Из данных таблицы 2 видно, что концентрация кислотных центров в образцах фосфата цинка не велика и, соответственно, данные образцы можно использовать для получения лакокрасочных материалов на основе водных дисперсий полимеров.

Таким образом, в ходе определения основных свойств пигмента, можно сделать вывод о возможности использования фосфата цинка в качестве противокоррозионного пигмента для разработки противокоррозионных лакокрасочных материалов на водной основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. № 2549848 С1 Российская Федерация, МПК С09D 5/08 (2006.01). Антикоррозионная водно-дисперсионная грунтовка: опубл. 27.04.2014; Бюл. №12 / Г.И. Петенев.
2. Пат. № 2424265 С1 Российская Федерация, МПК С09D 5/02 (2006.01), С09D 133/00 (2006.01), С09D 5/08 (2006.01). Водно-дисперсионная антикоррозионная грунт-эмаль: опубл. 20.07.2011; Бюл. №20. / Ф.И. Ильдарханова, Г.А. Миронова, С.В. Кузнецов, В.В. Меньшиков, К.Г. Богословский, О.Л. Большакова, Ю.И. Кузнецов, А.А. Чиркунов.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОДНЫХ ДИСПЕРСИЙ ПОЛИМЕРОВ

М.А. Вязникова, А.Е. Терешко

Научный руководитель – **А.Е. Терешко**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проведено исследование основных свойств водных дисперсий полимеров различной химической природы. Рассматриваются такие свойства, как массовая доля нелетучих веществ, размер частиц дисперсий, рН и электрокинетические исследования.

Ключевые слова: водные дисперсии полимеров, размер частиц, рН, электрофоретическая подвижность

PROPERTIES' RESEARCH OF AQUEOUS POLYMER DISPERSIONS

M.A. Vyaznikova, A.E. Tereshko

Scientific Supervisor – **A.E. Tereshko**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article is devoted to the study of basic properties of aqueous dispersions of polymers of different chemical compositions. Such properties as mass fraction of non-volatile substances, determination of particle size of dispersions, pH and electrophoretic mobility are considered.

Keywords: aqueous polymer dispersions, particle size, pH, electrophoretic mobility

В настоящее время в связи с ужесточением экологических требований одними из наиболее перспективных лакокрасочных материалов являются водно-дисперсионные краски. Это обуславливается также следующими преимуществами этих материалов: применение в качестве разбавителя воды взамен токсичных и огнеопасных растворителей дает значительную экономию, уменьшает пожароопасность при покраске, улучшает санитарно-гигиенические условия труда как при производстве, так и

при применении ЛКМ, меньшая трудоемкость отмывки оборудования и инструмента от неотвержденной краски.

Развитие производства и применение не содержащих органических растворителей лакокрасочных материалов на основе пленкообразующих веществ в виде водных растворов или дисперсий выдвинуло перед работниками лакокрасочной промышленности ряд новых проблем. Эти проблемы связаны не только и не столько с новой технологией производства и новыми свойствами покрытий, сколько с физико-химическими и коллоидно-химическими особенностями систем, образуемых пленкообразователями в водных средах. От упомянутых особенностей зависят технология производства, условия хранения, транспортировки и подготовки лакокрасочного материала к употреблению и сама техника нанесения покрытия.

Без ясного понимания природы и свойств водных растворов и дисперсий пленкообразующих веществ, очевидно, невозможно их оптимальное использование и тем более развитие этой важной области химии и технологии лакокрасочных материалов.

При производстве лакокрасочных материалов могут использоваться водные дисперсии полимеров различной химической природы.

В качестве объектов исследования использовались дисперсии полимеров: поливинилацетата (ПВАМД ДПМ 5035В), стирол-акрилового сополимера (Лакротэн Э-24, NeoCrylXK-82), акрилового (PrimalHG-98), полиуретана (U-615), бутадиен-стирольного сополимера (DL-950). Для данных дисперсий определены основные свойства: массовая доля нелетучих веществ (МДНВ), спектрофотометрическим методом определен размер частиц и значения рН. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты исследований

Параметр	DL-950	Лакротэн Э-24	Primal HG-98	ПВАМД ДПМ 5035В	NeoCryl XK-82	U-615
МДНВ, %	52,6	61,1	45,6	45,7	41,3	38,9
Размер частиц, мкм	0,3756	0,276	1,4929	1,6496	0,496	0,4897
рН	5,053	4,392	8,373	3,494	7,841	8,530

Показано, что все дисперсии обладают различным размером частиц и кислотностью. Значение рН водной фазы для водно-дисперсионных систем крайне важно, т.к. во многом определяет агрегативную устойчивость таких систем. При совмещении полимерных дисперсий с другими компонентами лакокрасочных материалов может изменяться и значение рН водной фазы. Таким образом, необходимым является исследование

электрофоретической подвижности частиц полимерных дисперсий в зависимости от кислотности водной фазы.

Таким образом, проведены исследования водных дисперсий полимеров различной природы. Показано, что данные дисперсии могут быть использованы для разработки водно-дисперсионных ЛКМ. Установлена необходимость проведения электрокинетических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модификация водных полимерных дисперсий золями серебра и меди. URL: <https://www.dissercat.com/content/modifikatsiya-vodnykh-polimernykh-dispersii-zolyami-serebra-i-medi> (дата обращения 19.12.23).
2. *Debye P.* Zur Theorie der Elektrolyte / P. Debye, E. Huckel // *Physikalische Zeitschrift*. 1923. Vol. 24. P. 185–206.
3. *von Smoluchowski M.* Zur kinetischen Theorie der Brownschen Molekularbewegung und der Suspensionen // *Annalen der Physik*. 1906. Vol. 326, no. 14. P. 756–780.
4. ГОСТ 31939-2022. Материалы лакокрасочные. Определение массовой доли нелетучих веществ. Утвержден и введен Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии от 14 июля 2022 г. № 628-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 3193-2022 от 01.03.23. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/782/78299.pdf> (дата обращения 20.12.23).
5. *Воюцкий С.С.* Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1976. 512 с.

УДК 678.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИИЗОБУТИЛЕНОВ НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

А.А. Григорьева, Е.Н. Егоров, Н.И. Кольцов

Научный руководитель – **Н.И. Кольцов**, д-р хим. наук, профессор

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Исследовано влияние полиизобутиленов на реометрические свойства резиновой смеси на основе каучуков общего и специального назначения.

Ключевые слова: полиизобутилены П-30 и П-200, бутадиен-стирольный и хлорбутил каучуки, резина, реометрические свойства

STUDY OF THE INFLUENCE OF POLYISOBUTHYLENES ON THE RHEOMETRIC PROPERTIES OF THE RUBBER MIXTURE

A.A. Grigorieva, E.N. Egorov, N.I. Kol'tsov

Scientific Supervisor – **N.I. Kol'tsov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov

The influence of polyisobutylenes on the rheometric properties of a rubber mixture based on general and special purpose caoutchoucs was studied.

Keywords: polyisobutylenes P-30 and P-200, styrene-butadiene and chlorobutyl caoutchoucs, rubber, rheometric properties

В современной технике происходит ужесточение требований к надёжности, долговечности и расширению диапазона эксплуатационных параметров резинотехнических изделий. Главной задачей технологии эластомерных материалов является создание оптимальных рецептов резиновых смесей и технологий их переработки, так как в эластомерных материалах используется большое количество ингредиентов [1-4]. В связи с этим нами изучено влияние полиизобутиленов марок П-30 и П-200 на реометрические характеристики резиновой смеси на основе каучуков общего и специального назначения.

Основной исследуемой резиновой смеси с серной вулканизирующей системой служили синтетические каучуки общего (дивинилстирольный ДССК-628 В) и специального (хлорбутил ХБК-139) назначения. Резиновая смесь также включала следующие ингредиенты: *транс*-полиборнен, серу, дифенилгуанидин, тиазол 2 МБС, белила цинковые, стеариновую кислоту, нафтам-2, битум, канифоль, фактис, технические углероды П 514 и П 803, мел природный. Первый вариант резиновой смеси не содержал полиизобутилены, второй - четвертый варианты содержали 5,0; 10,0 и 15,0 мас. ч. полиизобутилена П-30, а пятый - седьмой варианты – 5,0; 10,0 и 15,0 мас. ч. полиизобутилена П-200. В табл. 1 приведены варианты резиновой смеси.

Таблица 1. Варианты исследуемой резиновой смеси

Полиизобутилены	Варианты резиновой смеси						
	1	2	3	4	5	6	7
П-30, мас. ч.	–	5,0	10,0	15,0	–	–	–
П-200, мас. ч.	–	–	–	–	5,0	10,0	15,0

На рис. 1 представлены кривые вулканизации различных вариантов резиновой смеси, снятые на реометре MDR 3000 Basic при 150 °С в течение 40 мин.

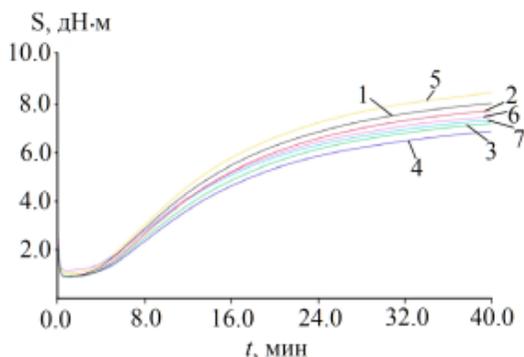


Рис. 1. Вулканизационные кривые резиновой смеси при 150 °С
(номера кривых соответствуют номерам вариантов резиновой смеси)

На основании этих кривых были определены реометрические (вулканизационные) характеристики резиновой смеси, которые приведены в табл. 2.

Таблица 2. Реометрические свойства различных вариантов резиновой смеси

Показатель	Варианты резиновой смеси						
	1	2	3	4	5	6	7
S_{\max} , дН·м	8,11	7,81	7,29	6,97	8,54	7,59	7,43
S_{\min} , дН·м	1,19	1,16	1,15	1,17	1,32	1,45	1,42
t_s , мин	8,09	8,52	9,07	9,54	7,96	8,95	9,01
t_{90} , мин	28,61	28,64	28,65	28,75	28,59	28,56	28,54
<i>Примечание:</i> S_{\max} – максимальный крутящий момент; S_{\min} – минимальный крутящий момент; t_s – время начала вулканизации; t_{90} – оптимальное время вулканизации.							

Из данных табл. 2 следует, что увеличение содержания полиизобутилена П-30 приводит к понижению максимального и минимального крутящих моментов резиновой смеси. Это, вероятно, обусловлено с тем, что полиизобутилен П-30 в составе резиновой смеси проявляет пластифицирующее действие. При этом наблюдается увеличение времен начала и оптимума вулканизации резиновой смеси, что способствует улучшению её технологических свойств – перерабатываемости методом каландрования. Аналогичное явление (уменьшение максимального крутящего момента, увеличение времен начала и оптимума вулканизации) наблюдается для резиновой смеси, содержащей полиизобутилен П-200. Резиновая смесь, содержащая 5 мас. ч. полиизобутилена П-200, характеризуется наибольшей разностью максимального и минимального крутящих моментов и наименьшим временем начала вулканизации, что свидетельствует о лучших её реометрических свойствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каблов В.Ф.* Современные тенденции эволюции рецептов резин // Каучуки резина. 2018. № 5. С.14-16.
2. *Татарова Т.С.* Влияние бутадиен-стирольных каучуков на реометрические свойства резины / Т.С. Татарова, И.С. Спиридонов, Н.И. Кольцов // Семьдесят пятая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 20–21 апреля 2022 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 2. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. 1 CD-ROM. С. 150-152.
3. *Валиуллина А.Ф.* Влияние полимерных смол на свойства гуммированной резины / А.Ф. Валиуллина, Н.И. Кольцов // Теоретические и экспериментальные исследования процессов синтеза, модификации и переработки полимеров. 01-03 июня 2022 г., Уфа: тезисы докладов VIII Всероссийской (заочной) научной конференции. [Электронный ресурс]. Уфа: Изд-во БГУ, 2022. С. 77-79.
4. *Спиридонов И.С.* Влияние многостенных углеродных нанотрубок на свойства термоагрессивостойкой резины / И.С. Спиридонов, Н.Ф. Ушмарин, С.И. Сандалов, Н.И. Кольцов // Резиновая промышленность: сырье, материалы, технологии. 23–27 мая 2022 г., Москва: материалы XXVII научно-практической конференции. [Электронный ресурс]. Москва: Изд-во: ООО «Научно-исследовательский центр «НИИШП», 2022. С. 99-102.

ГАЛЬВАНОШЛАМЫ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ СИЛИКАТНЫХ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

А.Д. Деменова, Н.Ю. Алешина, Е.С. Сергеев

Научный руководитель – **Е.С. Сергеев**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается способ утилизации гальваношлама как основы для антикоррозионного силикатного покрытия.

Ключевые слова: гальваношлам, коррозия, жидкое стекло, феррит кальция, антикоррозионное покрытие

GALVANIC SLUDGES AS BASIC MATERIAL FOR SILICATE ANTICORROSIVE COATINGS

A.D. Demeneva, N.Yu. Aleshina, E.S. Sergeev

Scientific Supervisor – **E.S. Sergeev**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

The paper examines a method for recycling galvanic sludges as a basic for an silicate anticorrosive coating.

Keywords: galvanic sludges, corrosion, liquid glass, calcium ferrite, anticorrosive coat

В связи с бурным развитием гальванического производства, данная отрасль производит большое количество отходов, основным из которых являются гальванические шламы (гальваношламы). Это пастообразные отходы II-III класса опасности от темно-серого до темно-коричневого цвета, плотностью 1,16–1,24 г/см³, влажностью от 60 до 85%, значениями pH = 3,2–7,9, имеющие сложный и нестабильный состав. Из химических веществ в гальваношламе преобладают соединения железа, а также и других тяжелых металлов, таких как хром, цинк, медь, никель и другие. Эти элементы загрязняют окружающую среду [1-4].

Вследствие того, что в составе гальваношламов преобладают оксиды железа, они могут являться сырьем для получения ферритов – экологических антикоррозионных пигментов. Тогда решится две

проблемы – утилизация крупнотоннажных отходов и замена существующих токсичных антикоррозионных пигментов. На основе гальваношламов получается антикоррозионный пигмент – феррит кальция за счет добавляемого к отходу CaO по керамической технологии ферритизации, согласно [5].

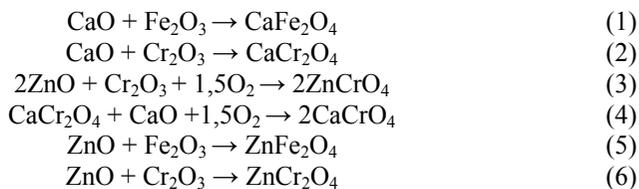
Для исследования был выбран гальванический шлам АО «Ярославский завод дизельной аппаратуры» (АО «ЯЗДА»), данные о составе которого представлены в табл. 1, влажностью 81%. Для определения химического состава отхода использовались стандартные методики.

Таблица 1. Химический состав сухого гальваношлама АО «ЯЗДА»

Показатель	Значение, %	Методика
Содержание веществ, растворимых в воде	2,60±0,05	ГОСТ 21119.2-75
Содержание веществ, нерастворимых в HCl	3,63±0,07	ГОСТ 30550-98
Содержание железа, в пересчете на Fe ₂ O ₃	71,53±1,43	ГОСТ 1652.3-77
Содержание кальция, в пересчете на CaO	16,27±0,33	ГОСТ 27894.10-88
Содержание цинка, в пересчете на ZnO	3,29±0,07	ГОСТ 18293-72
Содержание меди в пересчете на CuO	0,09±0,002	ГОСТ 4388-72
Содержание хрома в пересчете на Cr ₂ O ₃	2,23±0,05	ПНД Ф 14.1:2:4.52-96
Содержание никеля в пересчете на NiO	0,03±0,007	ПНД Ф 14.1:2:4.73-96
Прочие компоненты	0,33±0,007	-

Высокое содержание железа и низкое содержание веществ, растворимых в воде позволяют использовать рассматриваемый гальваношлам в качестве железосодержащего компонента для приготовления антикоррозионного пигмента.

Основной реакцией данного процесса является образование феррита кальция (1), но так как в составе гальванического шлама имеются значительные количества оксидов цинка и хрома, протекают побочные реакции (2)-(6):



Поэтому для полноты протекания основной реакции, а также для протекания побочных реакций были получены образцы антикоррозионных пигментов, с различным количеством добавленного в состав шихты CaO, согласно табл. 2.

Таблица 2. Химический состав антикоррозионных пигментов

Показатель	Значение, %			
	Избыток CaO 0 %	Избыток CaO 5 %	Избыток CaO 10 %	Избыток CaO 15 %
Содержание веществ, растворимых в воде	0,3±0,01	0,3±0,01	0,3±0,01	0,3±0,01
Массовая доля веществ, нерастворимых в соляной кислоте	71,05±1,42	73,35±1,47	74,93±1,50	75,11±1,50
Содержание остаточного железа, в пересчете на Fe ₂ O ₃	22,35±0,45	21,88±0,48	21,42±0,43	21,37±0,42
Содержание остаточного кальция, в пересчете на CaO	0	0,61±0,01	0,80±0,02	1,02±0,02
Содержание цинка, в пересчете на ZnO	1,29±0,03	1,07±0,21	1,01±0,02	0,82±0,02
Содержание меди в пересчете на CuO	0,04±0,001	0	0	0
Содержание хрома в пересчете на Cr ₂ O ₃	0,72±0,02	0,53±0,01	0,49±0,01	0,47±0,01
Содержание никеля в пересчете на NiO	0,01±0,0002	0	0	0
Прочие компоненты	4,24±0,09	2,26±0,05	1,05±0,02	0,91±0,02

Из полученных данных видно, что в результате процесса ферритизации гальваношлама содержание тяжелых металлов в нем снизилось, причем с увеличением избытка CaO наблюдается тенденция к их дальнейшему уменьшению. При этом с увеличением избытка добавляемого

CaO увеличивается содержание действующего вещества антикоррозионного пигмента – феррита кальция.

На основе данных антикоррозионных пигментов были получены образцы антикоррозионных покрытий, в которых в качестве связующего было использовано жидкое стекло в соотношении пигмент : связующее = 3 : 7. Для сравнения также были приготовлены образцы: антикоррозионный пигмент (феррит кальция) получен из чистых компонентов, жидкое стекло без антикоррозионного пигмента, пластина без покрытия.

Полученные образцы помещались в среду влажного воздуха, дистиллированной воды и 3%-ного раствора NaCl для проведения ускоренных испытаний на коррозионную стойкость до первых признаков коррозии, после чего эксперимент был прекращен. Время испытания 48 часов, температура испытания 24 °С. На основании полученных данных была определена эффективность антикоррозионных покрытий (рис. 1).

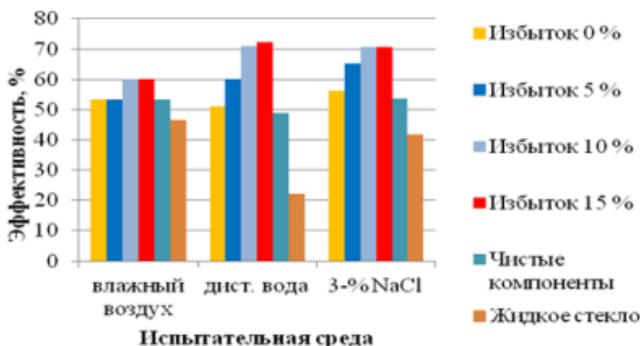


Рис. 1. Эффективность антикоррозионных покрытий

Рассматриваемые покрытия обеспечивают эффективность антикоррозионной защиты ~50-60 % в среде влажного воздуха и ~60-70 % в среде дистиллированной воды и 3%-ного NaCl, жидкое стекло ~ 40-45% в среде влажного воздуха и 3%-ного NaCl, но данный тип покрытия не является эффективным в среде дистиллированной воды.

Эффективность защиты от коррозии покрытий из пигментов с 10- и 15%-ным переизбытком CaO почти не отличается, поэтому наиболее предпочтительным вариантом будет выбор покрытия с 10% избытком за счет экономии сырья для производства. Данное покрытие предлагается для временной консервации колес железнодорожного состава в периоды его простоя или ремонта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальванические отходы: классификация и особенности утилизации. URL: <https://rcycle.net/othody/vidy/galvanicheskie-klassifikatsiya-i-osobennosti-utilizatsii>
2. Утилизация гальваношламов, чем опасны, порядок утилизации и переработки. URL: <https://lider-group.pro/chem-opasny-galvanoshlamy.html>
3. Утилизация и переработка гальванического шлама. URL: <https://bezotxodov.ru/promyshlennye-othody/galvanoshlam>
4. Утилизация гальваношламов: что такое, проблемы, способы. URL: <https://vtorothody.ru/utilizatsiya/galvanoshlamov.html>
5. Пат. № 2541069 Российская федерация, МПК-2012.01 С09С1/00, С09С 1/02, С09С 1/04, В02С19/18. Способ получения антикоррозионного пигмента: заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет». №2011122322/05; заявл. 01.06.2011; опубл. 20.12.2012, Бюл. №35 / О.П. Филиппова, Н.С. Яманина, А.В. Головников [и др.].

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОНАПОЛНИТЕЛЯ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА ЕГО ОСНОВЕ

К.Е. Дмитриев, А.О. Шамина, И.С. Коротнева

Научный руководитель – **И.С. Коротнева**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В работе приводятся результаты испытаний по определению прочности на разрыв эластомерных пленок на основе разработанного полимерного композиционного материала, содержащего стимуляторы биоразложения. Показано, что низконаполненные эластомерные пленки имеют более высокие показатели прочности на разрыв по сравнению с ненаполненными образцами, при этом дальнейшее увеличение количества бионаполнителя в изделии приводит к уменьшению прочности на разрыв.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, стимуляторы биоразложения, прочность на разрыв, влияние наполнителя

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF BIO-FILLER OF A POLYMER COMPOSITE MATERIAL ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF ELASTOMER FILMS BASED ON IT

K.E. Dmitriev, A.O. Shamina, I.S. Korotneva

Scientific Supervisor – **I.S. Korotneva**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper presents the results of tests to determine the tensile strength of elastomeric films based on the developed polymer composite material containing biodegradation stimulants. It has been shown that low-filled elastomeric films have higher tensile strength compared to unfilled samples, while a further increase in the amount of biofiller in the product leads to a decrease in tensile strength.

Keywords: polymer composite material, biodegradation stimulants, tensile strength, influence of filler

Латексы бутадиен-нитрильных сополимеров (БНК) все чаще используются для изготовления маканых изделий различного назначения. Например, нитриловые перчатки на текущий момент занимают крупный сегмент мирового рынка среди диагностических и медицинских средств индивидуальной защиты (СИЗ) одноразового применения. При этом применение в качестве сырья латексов на основе БНК может способствовать значительному снижению затрат на производство изделий из-за более низкой стоимости по сравнению с натуральными латексами. С другой стороны, удешевление производства приводит к повышенному объему потребления нитриловых СИЗов и возникает проблема накопления полимерных отходов [1].

В качестве решения проблемы все чаще практикуется изготовление изделий на основе биодеструктурируемых полимерных материалов. Изделия на основе таких материалов после окончания срока эксплуатации включаются в природные процессы метаболизма и снижают экологическую нагрузку на окружающую среду. В настоящее время биоразлагаемые полимерные материалы применяются в основном для изготовления упаковочных пленок, одноразовой посуды, однако в качестве основы таких изделий чаще всего лежит полимолочная кислота, производство которой в нашей стране невелико. С этой точки зрения важно иметь набор полимерных материалов различного состава, которые можно производить на основе отечественного сырья и применять для изготовления изделий различного назначения [2]. В качестве одного из таких составов предлагается полимерный композиционный материал (ПКМ) на основе бутадиен-нитрильных сополимеров, содержащий стимуляторы биоразложения [3].

ПКМ получали методом смешения латекса, компонентов серной вулканизирующей группы и стимулятора биоразложения, с последующим созреванием композиции. Образцы эластомерных пленок на основе ПКМ получали методом макания, а именно коагулянтным отложением [4].

Для эксплуатации изделий на основе ПКМ важно иметь данные о физико-механических характеристиках, одной из важных среди них является прочность на разрыв. Испытания по определению прочности на разрыв и подготовку образцов (рис. 1) проводили в соответствии с ГОСТ Р 54553-2011 на разрывной машине ИР 5113 фирмы «Точприбор» (Иваново) при скорости растяжения 250 мм/мин. Сущность испытания заключалась в определении предельной нагрузки на подготовленный образец эластомерной пленки при удлинении до разрыва.



а – образцы ПКМ до проведения испытаний



б – образцы ПКМ после испытаний

Рис. 1. Внешний вид образцов эластомерных пленок до/после проведения испытаний по определению прочности на разрыв

Испытания проводились в пяти повторностях для каждого состава ПКМ и для ПКМ без стимуляторов биоразложения. На рис. 2 представлены зависимости прочности на разрыв от количества стимулятора биоразложения.

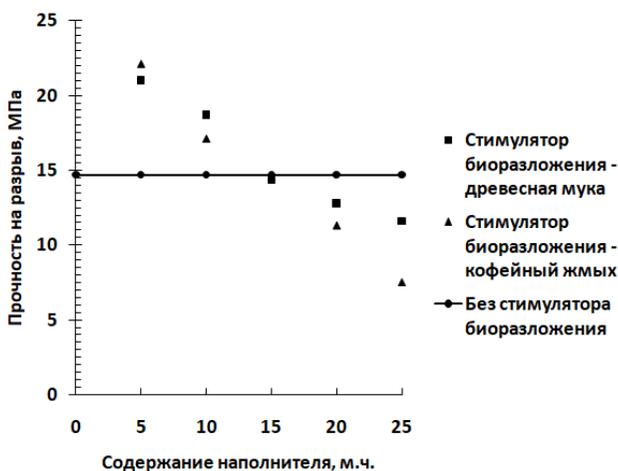


Рис. 2. Зависимость прочности на разрыв от содержания наполнителя

Показано, что с увеличением количества наполнителя выше 10 м. ч., снижается прочность на разрыв эластомерной пленки. При этом образцы с содержанием стимулятора биоразложения до 10 м.ч. имеют более высокий показатель прочности на разрыв, чем ненаполненные, что позволяет сделать предположение об армирующих свойствах наполнителя. Значение прочности на разрыв в 15 МПа является нижним пределом для стандарта по диагностическим нитрильным перчаткам. На основе данного

утверждения можно сделать вывод о соответствии стандарту образцов эластомерных пленок с наполнением до 15 м.ч.

Таким образом, исследовано влияние количественного содержания наполнителя в эластомерной пленке на прочность на разрыв. Результаты исследования позволяют сделать вывод о возможности применения ПКМ с наполнением до 15 м.ч. в качестве полимерной основы для изготовления маканых изделий различного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Unlocking the secret of bio-additive components in rubber compounding in processing quality nitrile glove / Guo Y. Yew [et al.] // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. Springer. 2020.
2. Fate of biodegradable polymers under industrial conditions for anaerobic digestion and aerobic composting of food waste / Bandini F. [et al.] // *Journal of Polymers and the Environment*. Springer. 2020.
3. Пат. № 2813722 РФ, МПК C08L 9/04, C08L 13/02, C08K 3/06, C08K 3/22, C08K 5/205. Полимерный композиционный материал, содержащий стимуляторы био-разложения, для производства маканых изделий: заявлено 09.03.2023; опубликовано 15.02.2024 / Коротнева И.С., Дмитриев К.Е.; Патентообладатель: ФГБОУВО ЯГТУ.
4. Технология получения полимерного композиционного материала со стимуляторами биодеструкции и изготовление маканых изделий на его основе / К.Е. Дмитриев, А.А. Ершов, А.О. Шамина, И.С. Коротнева // Семьдесят шестая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 19 апреля 2023 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. 1 CD-ROM. С. 126-129.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИАНГИДРИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Е.С. Иванова, А.В. Яковлева, В.А. Игнатьев

Научный руководитель – **В.А. Игнатьев**, ст. преподаватель

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Осуществлён синтез эпоксидных композиций и исследованы свойства эпоксиангидридных связующих, модифицированных гидроксилалкилзамещенными мочевинами.

Ключевые слова: эпоксидная смола, ангидридный отвердитель, эпоксиангидридное связующее, гидроксилалкилзамещенная мочевина

STUDY OF THE PROPERTIES OF MODIFIED EPOXYANHYDRIDE BINDERS

E.S. Ivanova, A.V. Yakovleva, V.A. Ignatiev

Scientific Supervisor – **V.A. Ignatiev**, Senior Lecturer

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov

The synthesis of epoxy compositions was carried out and the properties of epoxyanhydride binders modified with hydroxylalkyl substituted urea were investigated.

Keywords: epoxy resin, anhydride hardener, epoxyanhydride binder, hydroxylalkyl substituted urea

Эпоксиангидридные связующие широко распространены в производстве композитных материалов. Они являются одним из перспективных полимерных материалов, которые широко используются в производстве композитных материалов [1]. Они состоят из двух компонентов: эпоксидной смолы и ангидридного отвердителя. Данная комбинация образует материал, который является прочным и устойчивым к воздействию различных факторов. Также известно, что эпоксиангидридные связующие обладают высокой степенью адгезии (сцепления) между различными материалами, такими как стекло, металл, керамика и другие.

Полимерные материалы на основе эпоксидных олигомеров широко используются в различных отраслях промышленности и технике благо-

даря своим уникальным свойствам. Они представляют собой соединения, состоящие из двух или более эпоксидных групп, связанных между собой. Они применяются в различных областях, включая изоляцию высоковольтного электрооборудования и создание пропиточных, заливочных и герметизирующих компаундов для радиотехники и электротехники, в производстве клеев и герметиков, лакокрасочных материалов [2].

В связи с этим, нами был проведён синтез эпоксидных композиций на основе ЭД-22 и изо-МТГФА. Далее было изучено влияние гидроксилзамещенных мочеви́н (ГАМ) на кинетику отверждения. Было установлено, что при горячем отверждении эпоксиангидридных композиций без применения катализаторов реакцию проводят в две ступенчатые стадии.

Использование ГАМ в качестве катализаторов значительно упрощает процесс отверждения эпоксиангидридной композиции [3]. Применение данного катализатора позволяет снизить температуру процессов первой и второй стадий на 60°C. Кроме того гидроксилзамещенные мочевины ускоряют процесс отверждения диановой смолы, что делает процесс более эффективным.

Экспериментальным путём установили оптимальное соотношение смеси: ЭД-22 (100 мас. ч.), изо-МТГФА (100 мас. ч.), катализатор 2-метилимидазол (0,5 мас. ч.). При данном соотношении компонентов наблюдается максимальная прочность при сжатии (83,0 МПа).

В дальнейших исследованиях нами проводилась модификация данного оптимального состава эпоксиангидридной композиции, синтезированными ГАМ (табл.).

Результаты исследований показывают, что при добавлении синтезированных нами ГАМ в состав композиции, прочность образцов при сжатии несколько уменьшается, а прочность при разрыве незначительно увеличивается. Из этих данных можно сделать вывод, что использованные нами катализаторы не оказывают существенного влияния на когезионные свойства полимеров.

Таблица 1. Составы и свойства эпоксиангидридных композиций

№ п/п	ЭД-22, мас. ч.	изо-МТГФА, мас. ч.	2-метилимидазол, масс.ч.	1,6-ГМДИ, мас.ч.	2,4-ТДИ, мас.ч.	ИФДИ, мас.ч.	$\sigma_{сж}$, МПа	$\sigma_{разр}$, МПа	$\sigma_{отр}$, (Ст3) МПа	$\sigma_{отр}$, (Д16) МПа
1	100	80	0,5	-	-	-	83,0	32,0	25,5	26,5
2	100	80	-	0,5	-	-	80,0	44,3	31,7	30,7
3	100	80	-	-	0,5	-	79,0	33,5	28,3	33,8
4	100	80	-	-	-	0,5	76,5	35,0	27,7	40,9

Таким образом, были получены и изучены композиции на основе эпоксиангидридов, модифицированные гидроксиалкилзамещенными мочевиными. Исследование показало, что эти композиции могут быть использованы в качестве регуляторов свойств эпоксидных полимеров и ускорителей процессов отверждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Крыжановский В.К.* Термодформационные свойства связующих на основе эпоксидных олигомеров / В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, А.Д. Панаматченко // Клеи. Герметики. Технологии. 2008. № 2. С. 9-19.
2. *Евтушенко Ю.М.* Физико-химические свойства и каталитическая активность 2-замещенных имидазолов при отверждении эпоксисодержащих полимерных систем // Химическая технология. 2003. № 5. С. 18-22.
3. Синтез алифатических гидроксиэтилзамещенных мочевинов / В.А. Игнатьев, О.А. Коляшнин, М.В. Кузьмин, Л.Г. Рогожина, Н.И. Кольцов // Журнал органической химии. 2015. Т. 51, вып. 1. С. 123-124.

УДК 678.7

ВЛИЯНИЕ КАУЧУКОВ И СЭВИЛЕНА НА КИНЕТИКУ ВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

Е.С. Иванова, М.А. Капитонова, Н.И. Кольцов

Научный руководитель – **Н.И. Кольцов**, д-р хим. наук, профессор

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Исследовано влияние дивинилстирольных каучуков, хлорбутилкаучука и сэвилена 11808-340 на реометрические свойства резиновой смеси.

Ключевые слова: дивинилстирольные каучуки, хлорбутилкаучук, сэвилен, резина, реометрические свойства

THE INFLUENCE OF RUBBERS AND SAVILENE ON THE KINETICS OF VULCANIZATION OF A RUBBER COMPOUND

E.S. Ivanova, M.A. Kapitonova, N.I. Kol'tsov

Scientific Supervisor – **N.I. Kol'tsov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov

The effect of divinyl styrene caoutchoucs, chlorobutyl caoutchoucs and savylene 11808-340 on the rheometric properties of the rubber compound has been studied.

Keywords: divinyl styrene caoutchoucs, chlorobutyl caoutchoucs, savilene, rubber, rheometric properties

В настоящее время актуальным является разработка устойчивых к воздействию морской воды резин, используемых для изготовления различных изделий, применяемых в судостроении [1]. Такие резины готовятся на основе дивинилстирольных каучуков и хлорбутилкаучука. Дивинилстирольные каучуки наиболее распространенный тип каучуков общего назначения [2]. Известно, что введение сэвилена (сополимер этилена и винилацетата) в резиновую смесь позволяет получать резины с хорошими реометрическими и физико-механическими свойствами [3]. В связи с этим нами исследовано влияние сэвилена 11808-340 на реометрические свойства резиновой смеси на основе дивинилстирольных каучуков

(ДССК-628 В, СКМС-30АРК) и хлорбутилкаучука ХБК-139. В состав резиновой смеси также входили следующие компоненты: вулканизирующий агент – сера; ускорители вулканизации – тиазол 2МБС, гуанид Ф; активаторы вулканизации – белила цинковые, стеарин; антиоксидант – нафтам-2; наполнители – технические углероды П 514 и П803, мел, транс-полиносорборнен; мягчители – канифоль, нефтеполимерная смола и другие ингредиенты. В таблице приведены исследованные варианты резиновой смеси, которые характеризуются различным содержанием каучуков и сэвилена 11808-340.

Таблица 1. Варианты и реометрические свойства резиновой смеси

Каучуки, мас. ч.	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
ХБК-139	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
СКМС-30 АРК	75,00	75,00	75,00	75,00	-	-	-
Сэвилен 11808-340	-	5,00	10,00	15,00	5,00	10,00	15,00
ДССК-628В	-	-	-	-	75,00	75,00	75,00
Реометрические свойства резиновой смеси							
S_{\max} , дН·м	5,94	5,01	4,53	3,93	6,64	5,80	5,49
S_{\min} , дН·м	0,90	0,76	0,71	0,60	1,11	1,09	0,99
t_s , мин	10,63	12,57	14,19	16,57	7,92	9,56	10,13
t_{90} , мин	29,10	29,37	29,77	30,30	26,40	26,75	26,96
<i>Примечание: S_{\max} и S_{\min} – максимальный и минимальный крутящие моменты; t_s и t_{90} – времени начала и оптимума вулканизации.</i>							

Кривые вулканизации резиновой смеси при 150 °С в течение 40 минут, снятые на реометре MDR 3000 Basic, приведены на рис. 1.

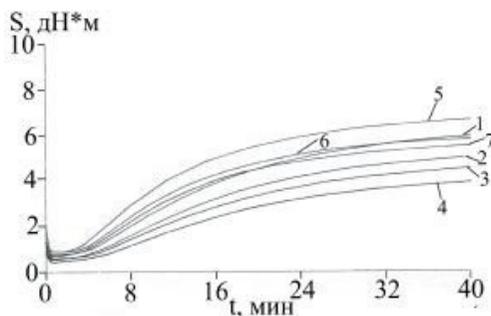


Рис. 1. Кривые вулканизации резиновой смеси
(номера кривых соответствуют номерам вариантов)

На основе кривых вулканизации были определены реометрические показатели, которые представлены в таблице. Из них следует, что по сравнению с первым (базовым) вариантом во втором – четвёртом вариантах резиновой смеси увеличение содержания сэвилена от 5,0 до 15,0 мас.ч. приводит к уменьшению максимального и минимального крутящих моментов, а времена начала и оптимума вулканизации незначительно повышаются. Равномассовая замена каучука СКМС–30 АРК (2-4 варианты) на каучук ДССК-628 В (5-7 варианты) в резиновой смеси также приводит к уменьшению её максимального и минимального крутящих моментов. При этом времена начала и оптимума вулканизации также незначительно увеличиваются. Таким образом, резиновая смесь на основе комбинаций каучуков ДССК-628 В (75,0 мас. ч.) и ХБК-139 (25,0 мас. ч.), содержащая 5,0 мас. ч. сэвилена 11808-340, обладает наилучшими реометрическими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование эксплуатационных и динамических свойств резины для изделий, работающих в морской воде / Е.Н. Егоров, Н.Ф. Ушмарин, С.И. Сандалов, Н.И. Кольцов // Известия вузов. Серия: Химия и химическая технология. 2020. Т. 63, № 11. С. 96-102.
2. Кошелев Ф.Ф. Общая технология резины / Ф.Ф. Кошелев, А.Е. Корнев, А.М. Буканов. М.: Химия, 1978. 528 с.
3. Справочник резинщика. Материалы резинового производства / редкол.: П.И. Захарченко, Ф.И. Ящунская, В.Ф. Евстратов, П.Н. Орловский. М.: Химия, 1971. 606 с.

ЖЕСТКИЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНЫ НА ОСНОВЕ ПРОСТЫХ ПОЛИЭФИРОВ

М.В. Ильин, М.В. Кузьмин, Н.И. Кольцов

Научный руководитель – **Н.И. Кольцов**, д-р хим. наук, профессор

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Взаимодействием простых разветвленных полиэфиров полиоксипропилентриолов Лапрол 3003 и Лапрол 5003 с метилендифенилдиизоцианатом (полиизоцианатом) в присутствии катализаторов (триэтанолamina и ацетата калия), вспенивающего агента (вода), кремнийорганического пеностабилизатора и регулятора вязкости (глицерин) синтезированы жесткие пенополиуретаны. Полученные пенополиуретаны могут быть рекомендованы для применения в строительстве.

Ключевые слова: жесткие пенополиуретаны, простые полиэферы, полиизоцианат, физико-механические свойства, степень водопоглощения

RIGID POLYURETHANE FOAMS BASED ON SIMPLE POLYETHERS

M.V. Ilyin, M.V. Kuz'min, N.I. Kol'tsov

Scientific Supervisor - **N.I. Kol'tsov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Chuvash State University named after I.N. Ulyanova

By reacting branched simple polyethers of polyoxypropylene triols Laprol 3003 and Laprol 5003 with methylene diphenyl diisocyanate (polyisocyanate) in the presence of catalysts (triethanolamine and potassium acetate), a foaming agent (water), an organosilicon foam stabilizer and a viscosity regulator (glycerol), rigid polyurethane foams were synthesized. The resulting polyurethane foams can be recommended for use in construction.

Keywords: rigid polyurethane foams, simple polyethers, polyisocyanate, physical and mechanical properties, degree of water absorption

В настоящее время актуальным является разработка пенополиуретанов (ППУ), обладающих улучшенными эксплуатационными характеристиками, технология производства которых является экологически безо-

пасной. Среди них следует выделить жесткие ППУ, для получения которых применяются сложные полиэферы [1, 2], обладающие более высокой вязкостью и дороговизной по сравнению с простыми полиэферами. Известно, что состав газовой фазы жесткого пенополиуретана определяет его теплопроводность. При этом в качестве вспенивающих агентов, как правило, используются гидрохлорфторуглероды [3, 4], выпуск которых в настоящее время практически прекращен. Поэтому наиболее приемлемым вспенивающим агентом является вода [5]. В связи с этим в данной работе разработана методика получения и исследованы свойства жестких ППУ на основе простых полиоксипропилентриолов Лапролов 3003, 5003 и полиизоцианата с применением в качестве вспенивающего агента воды.

В качестве исходных веществ для получения ППУ были выбраны: простые полиэферы - полиоксипропилентриолы Лапрол 3003 (ГЧ=51÷56 мг КОН/г) и Лапрол 5003 (ГЧ=32÷36 мг КОН/г) ТУ 2226-022-10488057-95 производства ПАО «Нижекамскнефтехим»; раствор триэтанолamina в дипропиленгликоле (ООО НПФ «Балтийская Мануфактура»); пеностабилизатор кремнийорганический «NIAХ SC-240»; раствор ацетата калия в диэтиленгликоле (ООО «Нортекс»); дистиллированная вода; метиленидифенилдиизоцианат - ПИЦ («Wanhua», Китай). ППУ получали смешением компонента А с компонентом Б (ПИЦ). Компонент А готовили в полиэтиленовом стакане, добавляя ингредиенты в следующем порядке: Лапрол 3003 и Лапрол 5003 в количестве 100 г (изменения их массовое соотношение от 10:90 до 90:10), дистиллированная вода (0.8 г), раствор триэтанолamina в дипропиленгликоле при массовом соотношении 3:4 (14.0 г), пеностабилизатор кремнийорганический (0.5 г) и раствор ацетата калия в дипропиленгликоле (1.5 г) при массовом соотношении 4:3; глицерин (2.0 г). Смесь перемешивали с помощью высокоскоростной мешалки в течение 120 с. Далее к компоненту А приливали компонент Б (от 140 до 161 г). При этом молярное соотношение между гидроксильными группами полиэферов и изоцианатными группами ПИЦ изменялось от 1:1.17 до 1:1.36. В табл. 1 приведены содержания полиэферов и ПИЦ, а также соотношение между гидроксильными и изоцианатными группами в проведенных экспериментах.

Для полученных ППУ определялись физико-механические свойства: условная прочность при растяжении (σ), относительный предел прочности при 10%-м сжатии ($\epsilon_{сж}$), кажущаяся плотность (ρ), теплопроводность (λ) и степень водопоглощения (α) (табл. 2).

Таблица 1. Содержание полиэфиров и ПИЦ

Компонент	Номера эксперимента									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Лапрол 3003, г	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Лапрол 5003, г	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ПИЦ, г	161	159	157	154	152	150	147	145	143	140
ОН:NCO	1:1.36	1:1.34	1:1.32	1:1.30	1:1.28	1:1.26	1:1.23	1:1.22	1:1.20	1:1.17

Таблица 2. Физико-механические показатели и степень водопоглощения ППУ

Показатели	Номер образца ППУ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
σ , МПа	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09
$\epsilon_{сж}$, МПа	0.28	0.23	0.20	0.18	0.15	0.13	0.10	0.09	0.08	0.08
ρ , кг/м ³	57.0	50.5	45.3	40.1	35.5	34.0	33.2	30.4	26.5	23.6
λ , Вт/(м·К)	0.022	0.022	0.023	0.023	0.024	0.024	0.024	0.025	0.025	0.025
α , %	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6	3.0

Как видно, при мольном соотношении ОН:NCO = 1:1.3 полученные ППУ удовлетворяют ГОСТ 59561-2021 (приложение Е) «Жесткие пенополиуретановые и пенополиизоциануратные системы перед применением» и ГОСТ Р 59685-2021 «Панели металлические трехслойные стеновые с утеплителем из пенополиуретана».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование совместимости полиолов и полиизоцианатов / Р.А Гоммен, Л.М. Глаголева, Н.В. Варенцов, Е.А. Петров // Пластические массы. 1976. № 8. С. 8-10.
2. Васильева С.Ю. Синтез и свойства пенополиуретанов на основе таллового масла / С.Ю. Васильева, О.Е. Насакин, Н.И. Кольцов // Бутлеровские сообщения. 2020. Т. 62, №4. С. 32-37.
3. Пат. № 2626960 Российская Федерация. Простые полиэферы сложных полиэфирполиолов и их применение для получения жестких пенополиуретанов: № 2014139360; заявл.12.04.2012; опубл. 18.02.2013 / А. Кунст.
4. Аржаков М.С. Исследование влияния состава смеси полиизоцианат - полиэфир - вспенивающий агент на свойства пенополиуретанов / М.С. Аржаков, П.П. Яковлев, А.И. Лопаткин // Деформация и разрушение материалов. 2019. Т. 9. С. 32 – 35.
5. Пат. № 2352593 Российская Федерация. Получение жестких пенополиуретанов и изделий из них: № 2014139357; заявл. 20.10.12; опубл. 28.02.2013 / Р.Х. Бианпид.

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ ДЛЯ ПРОКЛАДОК РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

Ю.А. Ильина, Е.Н. Егоров, Н.И. Кольцов

Научный руководитель – **Н.И. Кольцов**, д-р хим. наук, профессор

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Исследовано влияние различных наполнителей на реометрические и физико-механические свойства резины на основе каучуков общего и специального назначения для прокладок рельсовых креплений.

***Ключевые слова:** наполнители, каучуки, резина, реометрические и физико-механические свойства*

INFLUENCE OF FILLERS ON RHEOMETRIC AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF RUBBER FOR RAIL FASTENING GASKETS

Y.A. Iina, E.N. Egorov, N.I. Kol'tsov

Scientific Supervisor – **N.I. Kol'tsov**, Doctor of Chemistry Sciences,
Professor

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov

The influence of various fillers on the rheometric and physical-mechanical properties of rubber based on general and special purpose rubbers for rail fastening gaskets has been studied.

***Keywords:** fillers, coutchoucs, rubber, rheometric and physical-mechanical properties*

В настоящее время актуальной проблемой является обеспечение звуко- и виброзащиты железнодорожных путей. Для решения данной проблемы используются прокладки рельсовых креплений [1-5]. Основой для изготовления резин с такими свойствами служат комбинации каучуков общего и специального назначения. В данной работе изучено влияние различных дисперсных наполнителей на реометрические и физико-механические свойства резины. Изучаемая резиновая смесь содержала

каучуки СКМС-30АРК, СКИ-3 и NBR-6280, вулканизирующие агенты (серу, N,N'-дитиодиморфолин), ускорители вулканизации (сульфенамид Ц, тиурам Д), активаторы вулканизации (цинковые белила, стеариновую кислоту), мягчитель (канифоль), противостарители (диафен ФП, ацетонанил Н, воск ЗВ-П), наполнители (Зеосил 1165 МР, технический углероды N 220 и П 514, каолин, *транс*-полинонборнен), замедлитель подвулканизации (N-нитрозодифениламин) и модификатор (гепсол ХКП). Первый вариант резиновой смеси изготавливался с использованием каолина. Во втором – пятом вариантах каолин был заменен на следующие наполнители: продукт РГ-96П-10 (карбон 100), диатомит NDP-D-400, мел природный и шунгит, содержание которых составило 5 мас. ч. на 100 мас. ч. каучуков. Резиновую смесь готовили на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160 при температуре валков 60-70 °С в течение 15 мин. Для полученных вариантов резиновой смеси на реометре MDR 3000 Basic при 143 °С в течение 40 мин исследовались реометрические показатели. На основе различных вариантов резиновой смеси готовились вулканизаты, путем их вулканизации в прессе при 143 °С в течение 20 мин. Для полученных вулканизатов определялись физико-механические свойства. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1. Реометрические и физико-механические свойства различных вариантов резины

Показатель	Варианты резиновой смеси				
	1	2	3	4	5
Реометрические свойства					
S_{\max} , дН·м	20,21	20,64	20,49	20,5	21,32
S_{\min} , дН·м	3,32	3,43	3,36	3,36	3,61
t_s , мин	5,55	5,37	5,38	5,38	5,28
t_{90} , мин	16,21	15,67	15,68	15,68	15,92
Физико-механические свойства					
f_p , МПа	12,1	13,2	11,8	11,6	11,1
ϵ_p , %	290	330	320	300	290
H , ед. Шор А	72	72	72	72	72
B , кН/м	44	47	46	40	40
E , %	18	17	16	17	18
<p><i>Примечание:</i> S_{\max} – максимальный крутящий момент; S_{\min} – минимальный крутящий момент; t_s – время начала вулканизации; t_{90} – оптимальное время вулканизации; f_p – условная прочность при растяжении; ϵ_p – относительное удлинение при разрыве; H – твердость; B – сопротивление раздиру; E – эластичность по отскоку.</p>					

Из данных таблицы видно, что равномассовая замена каолина на вышеперечисленные дисперсные наполнители приводит к изменению реометрических показателей резиновой смеси: увеличению максимального и минимального крутящих моментов, уменьшению времен начала и оптимума вулканизации. При этом для вулканизатов второго и третьего вариантов наблюдается увеличение относительного удлинения при разрыве и сопротивления раздиру, тогда как твердость вулканизатов остается неизменной. Установлено, что лучшими реометрическими свойствами, наибольшими упруго-прочностными показателями и сопротивлением раздиру характеризуется вулканизат второго варианта резиновой смеси, содержащий продукт РГ-96П-10.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка и исследование резиновой смеси для прокладок рельсовых креплений / Е.Н. Егоров, Н.Ф. Ушмарин, С.И. Сандалов, Н.И. Кольцов // Российский химический журнал. 2021. Т. 65, №1. С. 56-61.
2. Исследование влияния кремнекислотного наполнителя Silica 1165 на свойства резины для прокладок рельсовых креплений / Е.Н. Егоров, Н.Ф. Ушмарин, С.И. Сандалов, В.С. Григорьев, Н.И. Кольцов, В.Д. Ворончихин // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2022. Т. 15, № 1. С. 110-117.
3. Влияние полиизобутилена на физико-механические, эксплуатационные, диэлектрические и динамические свойства резины для прокладок рельсовых креплений / Е.Н. Егоров, Н.Ф. Ушмарин, Е.В. Саломатина, А.Н. Матюнин // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2022. Т. 65, № 5. С. 94-102.
4. Effect of polynorbomene on physico-mechanical, dynamic, and dielectric properties of vulcanizates based on isoprene, α -methylstyrene-butadiene, and nitrile-butadiene rubbers for rail fasteners pads / E.N. Egorov, E.V. Salomatina, V.R. Vassilyev, A.G. Bannov, S.I. Sandalov // Journal of Composites Science. 2023. Vol. 7, no. 8. P. 334.
5. Егоров Е.Н. Влияние базальтовых волокон на физико-механические, эксплуатационные и динамические свойства резины для подрельсовых прокладок / Е.Н. Егоров, С.И. Сандалов, Н.И. Кольцов // Химия в интересах устойчивого развития. 2023. Т. 31, № 4. С. 374-378.

КРЕМНИЙУРЕТАНСОДЕРЖАЩИЕ ОЛИГОМЕРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕТИЛФЕНИЛСИЛОКСАНОВОЙ СМОЛЫ

А.А. Кириллов, М.В. Кузьмин, Н.И. Кольцов

Научный руководитель – **Н.И. Кольцов**, д-р хим. наук, профессор

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Реакциями метилтрихлорсилана и фенилтрихлорсилана с бутиловым спиртом и водой в среде орто-ксилола синтезирован полиметилфенилсилоксан, взаимодействием которого с диизоцианатами (изофорондиизоцианат, 2,4-толулендиизоцианат и 1,6-гексаметилендиизоцианат) получены кремнийуретансодержащие олигомеры. Методами ИК- и ЯМР ^1H -спектроскопии доказана структура полученных соединений.

Ключевые слова: хлорсиланы, полиметилфенилсилоксан, диизоцианаты, синтез, кремнийуретансодержащие олигомеры, ИК- и ЯМР ^1H -спектроскопия

SILICONURETHANE-CONTAINING OLIGOMERS BASED ON POLYMETHYLPHENYLSILOXANE RESIN

A.A. Kirillov, M.V. Kuz'min, N.I. Kol'tsov

Scientific Supervisor - **N.I. Kol'tsov**, Doctor of Chemistry Sciences,
Professor

Chuvash State University named after I.N. Ulyanova

By reacting methyltrichlorosilane and phenyltrichlorosilane with butyl alcohol and water in ortho-xylene, polymethylphenylsiloxane was synthesized, the reaction of which with diisocyanates (isophorone diisocyanate, 2,4-toluylene diisocyanate and 1,6-hexamethylene diisocyanate) produced silicon urethane-containing oligomers. Using IR- and ^1H NMR spectroscopy, the structure of the resulting compounds was proven.

Keywords: chlorosilanes, polymethylphenylsiloxane, diisocyanates, synthesis, silicon-urethane-containing oligomers, IR- and ^1H NMR spectroscopy

Известно [1, 2], что деятельность человека в области производства изделий и объектов (летательные аппараты, космические корабли, изделия электротехнической промышленности, радиоэлектроники, различные детали приборов машин, бытовых нагревательных установок), связанных с нагревом привело к совершенствованию и созданию новых термоустойчивых кремнийорганических производных, материалов и покрытий на

их основе. Однако эти покрытия имеют повышенную хрупкость и невысокую стойкость к механическим воздействиям [3, 4]. В связи с этим для устранения этих недостатков в настоящей работе проведена химическая модификация полиметилфенилсилоксана (ПМФС) различными диизоцианатами в процессе его синтеза, используемого в качестве пленкообразующего при изготовлении термостойких лакокрасочных материалов.

В работе использовали фенилтрихлорсилан (Hefei Yabang Chemical CO. LTD), метилтрихлорсилан (Tianjin Shentai Chemical Reagent CO. LTD), бутиловый спирт и орто-ксилол (АО «Русхимсеть»), изфторондиизоцианат (Anhui Sinograce Chemical), 2,4-толуилендиизоцианат и 1,6-гексаметилендиизоцианат (Henan Gp Chemicals CO. LTD).

Синтез ПМФС проводили по методике, приведенной в работе [5]. Далее взаимодействием синтезированного ПМФС с различными диизоцианатами (изофторондиизоцианат, 2,4-толуилендиизоцианат и 1,6-гексаметилендиизоцианат) при соотношении реагирующих групп $\text{NCO}:\text{OH} = 0,5:1$ были получены кремнийуретансодержащие олигомеры КУО-И, КУО-Т и КУО-Г. Синтезы проводили следующим образом. В трехгорлую колбу, снабженную термометром, отводом для вакуума, мешалкой с гидрозатвором через воронку загружали раствор ПМФС, который растворяли в расчетном количестве орто-ксилола до получения раствора с концентрацией ПМФС 50,1% мас. В дальнейшем, при включенной мешалке, в полученную смесь добавляли расчетное количество диизоцианатов с получением кремнийуретансодержащих олигомеров. Процесс уретанообразования проводили при температуре 50-80 °С в течение 180 мин при постоянном перемешивании реакционной массы до полной конверсии изоцианатных групп. Контроль за ходом реакций проводили методом ИК-спектроскопии на спектрофотометре Фурье-спектрометре серии «ФТ-801» по исчезновению полосы поглощения изоцианатной группы в области 2270 см^{-1} и появлению полосы поглощения уретановой группы в области $1708\text{-}1698 \text{ см}^{-1}$ (рис. 1), а также титрованием остаточных изоцианатных групп методом аминного эквивалента.

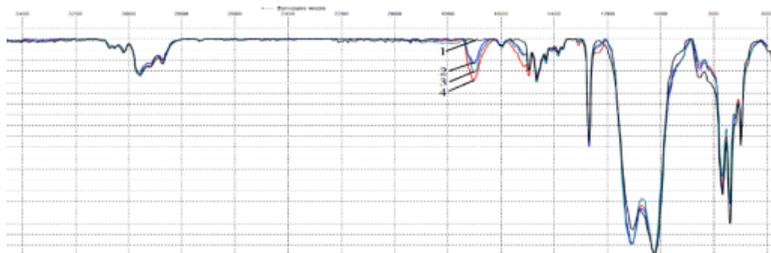


Рис. 1. ИК-спектры ПМФС и кремнийуретансодержащих олигомеров:
1 – ПМФС; 2 – КУО-И; 3 – КУО-Т; 4 – КУО-Г

Из рис. 1 следует, что ИК-спектры олигомеров содержат полосу поглощения уретановой группы в области 1708-1698 см⁻¹. Структура ПМФС и полученных кремнийуретансодержащих олигомеров также была подтверждена спектрами ЯМР ¹H-спектроскопии, снятыми на приборе Bruker DRX500 500.13 МГц (внутренний стандарт – тетраметилсилан в ДМСО-d6).

Синтезированные кремнийуретансодержащие олигомеры будут использованы для получения высокоэластичных термостойких защитных лакокрасочных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Конторов А.М.* Кремнийорганические (силиконовые) смолы: классификация, получение, свойства и применение. Сравнение отечественных и импортных смол. Обзор /А.М. Конторов, А.Ю. Глушенко // Бутлеровские сообщения. 2022. Т. 72, № 12. С. 79-97.
2. *Kartashova V.V.* Investigation of properties of polymer coatings based on organosilicon material / V.V. Kartashova, N.I. Baurova // Adhesives. Sealants. Technologies. 2022. No. 1. P. 41-45.
3. Significant improvement of urethane-containing silane on the tracking and erosion resistance of silicone rubber/silica nanocomposite by enhancing the interfacial effect / Y. Zhang, X. Zeng, X. Lai, H. Li, X. Huang // Polymer Testing. 2018. Vol. 69. P. 16-25.
4. Silicon-containing epoxy composite materials and their application in ship coating technology / M.A. Ilyina, L.N. Mashlyakovsky, A.S. Drinberg, E.V. Khomko, A.V. Garabadzhiu // Journal of Applied Chemistry. 2019. Vol. 92, no. 4. P. 491-503.
5. Патент № RU2108347 С1 Российская Федерация. Способ получения полиорганосилоксанового лака: опубл. 10.04.1998 / Матвеев Л.Г, Варакосов В.С., Шаповал Н.Н., Воробьев Н.И.

ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗООКСИДНЫХ ПИГМЕНТОВ ПРОКАЛОЧНЫМ СПОСОБОМ ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.Н. Колосова, А.Е. Терешко

Научный руководитель – **А.Е. Терешко**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Исследована возможность использования железосодержащих руд в качестве сырья для синтеза железоксидных пигментов.

Ключевые слова: оксид железа, железная руда, синтез, железоксидный пигмент, прокалка

OBTAINING IRON OXIDE PIGMENTS BY CALCINATION METHOD FROM METALLURGICAL INDUSTRY WASTE

A.N. Kolosova, A.E. Tereshko

Scientific Supervisor – **A.E. Tereshko**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The possibility of using iron-containing ores as raw materials for the synthesis of iron oxide pigments has been studied.

Keywords: iron oxide, iron ore, synthesis, iron oxide pigment, calcination

На сегодняшний день горно-обогатительные комбинаты и металлургические заводы вырабатывают большое количество отходов, содержащих железо. Перед такими предприятиями остро стоит задача утилизации своих отходов. Одним из вариантов переработки железосодержащих отходов металлургических производств является использование их для получения железоксидных пигментов [1-2].

В связи с этим, целью работы является исследование возможности использования железосодержащих руд в качестве сырья для синтеза железоксидных пигментов прокалочным методом.

Объектом исследования явилась железосодержащая руда красного цвета (ЖРК) – отход производства Яковлевского горно-обогатительного комплекса (ЯГОК). Данный отход отличается высоким содержанием оксида железа (в пересчете на железо – 41,376% мас.), что позволяет рассматривать его возможное сырье для получения пигментов. Прежде всего нами была исследована возможность применения самой руды в качестве железооксидного пигмента. Для это были исследованы пигментные свойства руды. Результаты исследования пигментных свойств представлены в табл. 1.

Таблица 1. Пигментные свойства красной железооксидной руды

Показатель	ЖРК
Наивероятнейший размер частиц, мкм	2,0
Диспергирование в водной среде, мкм	2,6
Перетир по «Клину» в среде олигомера, мкм	98
Содержание железа, %	75,55
Маслоемкость, г/100г	10,3
Укрывистость, г/м ²	55,5
Содержание водорастворимых солей, %	1,30
pH водной суспензии	7,46
Красящая способность, %	0,06
Цветовые характеристики (координаты цвета в системе CIEL*a*b*)	L*=14,60 a*=21,28 b*=46,88

Показано, что у железооксидной руды очень хорошее значение маслоемкости, которое может обеспечить высокую критическую объемную концентрацию пигмента в композиционном материале или покрытии. Значения укрывистости соответствуют железооксидным пигментам низкого уровня качества. Содержание водорастворимых солей и pH водной вытяжки железной руды соответствует требованиям для пигментов, однако содержание водорастворимых солей должно быть снижено промывкой. Тогда как красящая способность для ЖРК очень низкая, всего 0,06%. Неудовлетворительное значение красящей способности для руды ЯГОК связано как с недостаточной дисперсностью, так и более низкой чистотой тона.

Исходя из представленных исследований, можно заключить, что ввиду низкой интенсивности, неудовлетворительных пигментных свойств железооксидная руда производства ЯГОК не может быть использованы в качестве железооксидных пигментов [3-4].

Одним из вариантов использования отходов оксида железа является получение их при переработке продукта, содержащего железооксидный пигмент, обладающий, желательно, транспарентными свойствами.

Наиболее распространенным способом получения железооксидных пигментов является прокалка железосодержащего сырья. В связи с этим, нами была исследована возможность получения продуктов, обладающих пигментными свойствами, прокалкой образцов руды. Зависимость свойств продуктов прокалки руды от температуры прокалки представлена в табл. 2.

Таблица 2. Влияние температуры прокалки на свойства продукта

Показатель	ЖРК при 300 °С	ЖРК при 400 °С	ЖРК при 500 °С	ЖРК при 600 °С	ЖРК при 800 °С	ЖРК при 1000 °С
Средний размер частиц, мкм	2,90	3,80	2,80	4,40	4,10	7,10
Наивероятнейший размер частиц, мкм	1,47	1,88	1,38	2,20	2,04	3,54
Содержание железа, %	59,83	66,11	33	64,35	36	25
Маслоемкость, г/100 г	51,0	16,5	12,0	11,5	12,0	11,0
Укрывистость, г/м ²	15,66	23,33	30,00	26,07	30,00	28,00
Содержание водорастворимых солей, %	0,017	2,5	2,40	2,35	2,08	2,56
pH водной суспензии	7,50	6,89	6,85	6,728	6,92	7,23
Цветовые характеристики (координаты цвета в системе CIE L*a*b*)	L*=34,07 a*=13,08 b*=6,98 c=14,83 H=61,91 ⁰	L*=30,56 a*=10,31 b*=6,40 c=12,13 H=58,17 ⁰	L*=29,48 a*=10,81 b*=5,37 c=12,07 H=63,58 ⁰	L*=31,42 a*=10,54 b*=7,05 c=12,68 H=56,22 ⁰	L*=32,33 a*=14,79 b*=6,44 c=15,86 H=66,47 ⁰	L*=27,2 a*=11,27 b*=4,12 c=11,99 H=69,92 ⁰
Выход продукта, %	97,4	97,5	97,5	97,5	97,5	97,3
Время прокалки, ч	2	2	2	2	2	2

В результате исследований были изучены свойства продуктов прокалки руды при различных температурах. Термически обработанные продукты при 500 и 800 °С обладают схожими пигментными характеристиками. При максимальной температуре прокалки продукт имеет более низкую укрывистость и более высокую маслоемкость по сравнению с образцом без прокалки. Это объясняется более крупным размером частиц. Более низкий показатель содержания железа можно связать с недостаточной растворимостью в соляной кислоте. Образец, полученный при температуре 300 °С, по своим характеристикам близок к эталону и ЖРК без прокалки.

Таки образом, методом прокалки получены продукты с удовлетворительными пигментными свойствами, которые могут быть рекомендованы к апробации в качестве пигментов для окраски цемента, тротуарной плитки, водно-дисперсионных строительных лакокрасочных материалов, а также для окраски бумаги в массе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ермилов, П.И.* Пигменты и пигментированные лакокрасочные материалы: учебное пособие для вузов / П.И. Ермилов, Е.А. Индейкин, И.А. Толмачев. Л.: Химия, 1987. 198 с.
2. *Беленький, Е.Ф.* Рискин И.В. Химия и технология пигментов / Е.Ф. Беленький, И.В. Рискин. 3-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Госхимиздат, 1960. 757 с.
3. Колосова А.Н. Новые виды сырья для синтеза железооксидных пигментов / А.Н. Колосова, А.Е. Терешко // Семьдесят пятая научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 20-21 апреля 2022 г. Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. С. 180-182. 1 CD-ROM.
4. *Кудрявцев Я.В.* Использование гранулированного оксида железа в качестве сырья для синтеза железооксидных пигментов / Я.В. Кудрявцев, А.Е. Терешко // Семьдесят пятая научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 20-21 апреля 2022 г. Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. 1 CD-ROM. С. 183-185.

ФЕРРОМАГНИТНЫЕ МИНЕРАЛЫ

А.В. Корсакова, Г.Б. Ануфриева

Научный руководитель – **Г.Б. Ануфриева**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

Исследовали ферромагнитные материалы.

Ключевые слова: магнетит, маггемит, гематит

FERROMAGNETIC MINERALS

A.V. Korsakova, G.B. Anufrieva

Scientific Supervisor – **G.B. Anufrieva**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

Was examined ferromagnetic minerals.

Keywords: magnetite, maghemite, hematite

Среди оксидов железа наиболее востребованными являются гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) и маггемит ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Эти оксиды легко синтезируются, обладают высокой коррозионной стойкостью, низкой токсичностью и магнитной восприимчивостью. Благодаря таким свойствам эти оксиды находят применение в качестве катализаторов, в системах очистки сточных вод путем адсорбции вредных примесей, в газовых датчиках, в качестве магнитных материалов хранения информации, в солнечных батареях, в диагностике и лечении заболеваний. Области применения этих оксидов с каждым годом расширяются в соответствии с современными трендами развития науки и технологий [1].

Магнетит (FeOFe_2O_3) – исключительно важный минерал, являющийся основным источником получения, наиболее применяемого в народном хозяйстве металла и носителем фундаментальной информации об условиях формирования и эволюции Земли, ее коры и месторождений полезных ископаемых.

Известно, что первоисточником веществ земной коры в основном является мантия, поставляющая их в верхние части и к поверхности планеты преимущественно в виде магматических расплавов. Образование и концентрация рассматриваемого оксида железа до рудных скоплений осуществляются в ходе кристаллизации этих расплавов и последующего магматического и гидротермального преобразования сформированных

при этом минералов и горных пород, то есть в магматических и гидротермальных процессах.

В магматических процессах возможность появления магнетита и других оксидов во многом зависит от состава магм, а именно от количества в силикатном расплаве кремния, который контролирует нахождение и распределение в системе кислорода, определяющего образование оксидов в целом.

Как известно, магматические расплавы состоят из кремнекислородных тетраэдров $[\text{SiO}_4]^{4-}$, в промежутках которых находятся другие элементы в виде катионов (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Ti^{4+} , Mn^{2+}). Расчеты показывают, что кислород полностью удерживается (связывается) кремнием в кремнекислородных тетраэдрах при массовом содержании в магме $\text{SiO}_2 \sim 47\%$ и более. При меньшей величине появляется возможность существования в магматическом расплаве «свободного» кислорода *in situ*, который может вступать в соединение с атомами других химических элементов и создавать с ними оксидные формы.

Магмы с массовым содержанием $\text{SiO}_2 > 47\%$ не выделяют собственного (*in situ*) свободного кислорода из-за того, что в них весь кислород связывается и удерживается кремнием, то есть целиком тратится на создание силикатных соединений, оставаясь в основном в кремнекислородных тетраэдрах. Поэтому при кристаллизации этих магм в закрытых условиях образуются практически безоксидные горные породы и, соответственно, не формируются рудные скопления оксидов.

Появление оксидных соединений возможно при кристаллизации таких магм в открытых условиях, в случае поступления в них кислорода из окружающей среды (from without – из вне – «внешний»). Именно за счет этого кислорода образуется большая часть магнетита и его скоплений, связанных обычно с основными и средними магмами и породами в магматических и гидротермальных проявлениях [2].

Таблица 1. Сравнительная характеристика

Название минерала	Магнетит	Маггемит	Гематит
Формула	$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$
Кристаллическая структура	Обращенная шпинель	Дефектная шпинелевая	Корунд
Магнитные свойства	Ферромагнетик	Ферромагнетик	Антиферромагнетик
Цвет	Железно-черный	Темно-бурый	Вишнево-красный
Магнитная восприимчивость, $\cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	40000-100000	≈ 40000	27-63
Токсичность	Высокая цитотоксичность наночастиц, микрометровые частицы - относительно биологически инертные	Не цитотоксичен	Не токсичен

Магнитные частицы имеют широкий спектр применения во многих областях. Они применяются в полимерных покрытиях, системах очистки сточных вод и для очистки водоемов от продуктов нефтепереработки и результатов разлива нефтяных отходов, в составе магнитных пигментов.

Отсутствие токсичности у данных веществ обуславливает их применение ввиду все большей актуализации вопросов поддержания и улучшения экологического состояния природной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Структура, морфология и магнитные свойства нанопорошков гематита и магнетита, полученных из прокатной окалины / Д.Б. Каргин., Ю.В. Конюхов, А.Б. Бисекен, А.С. Лилеев, Д.Ю. Карпенков // Известия вузов. Черная металлургия. 2020. Т. 63, № 2. С. 146-154.
2. *Лихачев А.П.* Условия образования магнетита и его рудных скоплений // Отечественная геология. 2017. С. 44-53.

**ВЛИЯНИЕ БРОМБУТИЛКАУЧУКА
НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ**

С.И. Кощенкова, Н.А. Семенова, Н.И. Кольцов

Научный руководитель – **Н.И. Кольцов**, д-р хим. наук, профессор

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Исследовано влияние бромбутилкаучука на реометрические свойства резиновой смеси на основе бутадиен-метилстирольного каучука.

***Ключевые слова:** бромбутиловый и бутадиен-метилстирольный каучуки, резиновая смесь, реометрические свойства*

**INFLUENCE OF BROMOBUTYL RUBBER
ON TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF RUBBER MIXTURE**

S.I. Koschenkova, N.A. Semenova, N.I. Kol'tsov

Scientific Supervisor – **N.I. Kol'tsov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov

The influence of bromobutyl caoutchouc on the rheometric properties of the rubber mixture on the base of methylstyrene butadiene caoutchouc was studied.

***Keywords:** bromobutyl and methylstyrene butadiene caoutchoucs, rubber compound, rheometric properties*

Известно, что резиновые изделия, используемые в условиях воздействия морской воды, изготавливаются из комбинации каучуков [1]. В данной работе нами исследована возможность частичной замены синтетического бутадиен-метилстирольного каучука ДССК-621 на бромбутилкаучук ББК-232, а также влияние этой замены на технологические свойства резиновой смеси. В таблице приведены варианты резиновой смеси. Первый вариант резиновой смеси не содержал бромбутилкаучук ББК-232. Второй, третий, четвертый, пятый и шестой варианты соответственно содержали 20,0; 40,0; 60,0 и 100,0 мас. ч. ББК-232. Во всех шести вариантах резиновой смеси суммарное содержание ББК-232 и ДССК-621

составляло 100,0 мас. ч. Варианты резиновой смеси готовились на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160 при температуре 70 °С в течение 30 мин.

Таблица 1. Варианты и технологические свойства резиновой смеси

Ингредиенты и показатели	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
ББК-232, мас. ч.	-	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0
ДССК-621, мас. ч.	100,0	80,0	60,0	40,0	20,0	-
Реометрические показатели резиновой смеси при 150 °С						
S_{\max} , дН·м	5,79	4,98	4,22	3,82	3,73	2,85
S_{\min} , дН·м	1,26	1,05	1,2	0,92	0,98	0,74
t_s , мин	8,61	8,75	9,81	8,75	7,72	7,5
t_{90} , мин	24,96	25,14	25,72	24,28	21,70	14,83
<i>Примечание: S_{\max} и S_{\min} – максимальный и минимальный крутящие моменты; t_s и t_{90} – времена начала и оптимума вулканизации.</i>						

Кинетику вулканизации резиновой смеси изучали на реометре MDR 3000 Basic фирмы «Mon Tech» при 150 °С в течение 30 мин. На рис. 1 приведены полученные кривые вулканизации.

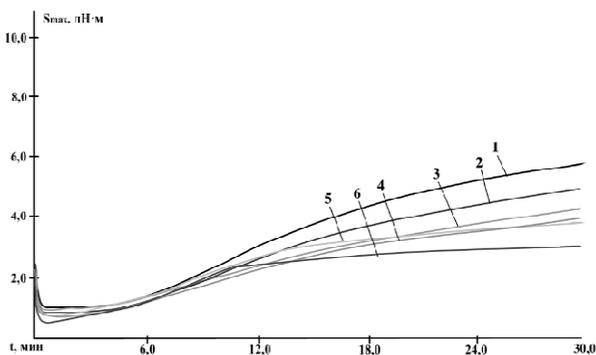


Рис. 1. Вулканизационные кривые резиновой смеси
(номера кривых соответствуют номерам вариантов)

На основании рис. 1 были определены реометрические свойства различных вариантов резиновой смеси, значения которых приведены в таблице. Как видно, по сравнению с базовым вариантом частичная замена каучука ДССК-621 на бромбутилкаучук ББК-139 приводит к уменьшению максимального и минимального крутящих моментов. При этом времена начала и оптимума вулканизации принимают

максимальные значения в третьем варианте резиновой смеси, в котором содержание каучуков ДССК-621 и ББК-232 составляет 60,0 и 40,0 мас. ч.

Таким образом, частичная замена синтетического бутадиен-метилстирольного каучука ДССК-621 на бромбутилкаучук ББК-232 приводит к улучшению реометрических свойств резиновой смеси, что позволит повысить физико-механические и эксплуатационные свойства изделий на их основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование эксплуатационных и динамических свойств резины для изделий, работающих в морской воде / Е.Н. Егоров, Н.Ф. Ушмарин, С.И. Сандалов, Н.И. Кольцов // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2020. Т. 63, вып.11. С. 96-102.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДИФФУЗИОННУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ

В.А. Крисанова, А.А. Липин

Научный руководитель – **А.А. Липин**, канд. тех. наук, доцент

Ивановский государственный химико-технологический университет

Исследована кинетика выделения карбамида из гранул, покрытых полимерной оболочкой, при различных температурных условиях. Установлена зависимость эффективного коэффициента диффузии карбамида через слой покрытия, полученного из акрилового полимера, от температуры.

Ключевые слова: полимерное покрытие, диффузия, капсулированный карбамид, кинетика выделения, температура окружающей среды

INVESTIGATION OF TEMPERATURE EFFECT ON THE DIFFUSION PERMEABILITY OF THE POLYMER COATING

V.A. Krisanova, A.A. Lipin

Scientific Supervisor – **A.A. Lipin**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Ivanovo State University of Chemistry and Technology

The kinetics of urea release from polymer coated granules was studied under different temperature conditions. The dependence of the effective diffusion coefficient of urea through a coating layer made from acrylic polymer on temperature has been obtained.

Keywords: polymeric coating, diffusion, coated urea, release kinetics, surrounding temperature

Капсулирование различных дисперсных продуктов – это процесс нанесения на мелкие частицы вещества покрытий из пленкообразующих материалов. При получении капсулированных химических продуктов, например, минеральных удобрений или химических реагентов с регулируемым выделением целевого компонента, чаще всего используются по-

лимерные покрытия [1]. Скорость высвобождения целевого компонента из капсулированных частиц во многом определяется диффузионными свойствами полимерной оболочки, количественной характеристикой которых является эффективный коэффициент диффузии целевого компонента через пленку покрытия.

Для прогнозирования кинетики выделения питательных веществ из капсулированных удобрений применяются методы математического моделирования. Модели позволяют оперативно оценить свойства произведенных удобрений, сократив время экспериментальных исследований до минимума. Уравнения, описывающие диффузию питательных веществ, включают эффективный коэффициент диффузии, который обычно определяется экспериментально [2]. Он зависит от температуры, поэтому установление температурной зависимости коэффициента диффузии конкретного компонента через конкретную пленку является актуальной прикладной задачей.

В данной работе исследовалась кинетика выделения карбамида из гранул с покрытием из акрилового полимера. Капсулированный карбамид был получен методом распыления полимерной дисперсии на псевдооживленный слой гранул в лабораторной установке, описанной в работе [3]. Исследование кинетики выделения карбамида из капсулированных гранул осуществлялось в водной среде в статическом режиме. Для этого 5 г капсулированных гранул с массовой долей оболочки 25% помещались в 50 мл дистиллированной воды, налитой в емкости с крышкой. С определенной периодичностью отбирались пробы раствора, в которых рефрактометрическим методом определялась концентрация выделяющегося карбамида. Соотношение текущей концентрации и максимально возможной при полном растворении ядра гранулы характеризует степень выделения карбамида из капсулированных гранул.

Рис. 1. иллюстрирует кинетику выделения карбамида при переменной температуре среды. При увеличении температуры наклон кривой степени выделения возрастает, а при её снижении уменьшается. Соответственно изменяется и скорость выделения карбамида. Для правильного прогнозирования кинетики выделения карбамида с помощью математических моделей, необходимо установить зависимость его эффективного коэффициента диффузии через пленку покрытия от температуры.

Для установления этой температурной зависимости была проведена серия опытов по растворению капсулированных гранул карбамида при постоянной температуре. В этих опытах емкости с погруженными в воду капсулами помещались в воздушный термостат, где выдерживались при температурах 19, 27 и 35 °С. На рис. 2. точками показаны опытные данные по кинетике выделения карбамида в воде при указанных температурах. Для определения эффективного коэффициента диффузии произво-

дился расчет степени выделения карбамида с помощью математической модели, описанной в работе [2]. При этом задавался ряд значений коэффициента диффузии D , а затем выбиралось то значение D , которое обеспечивало наилучшее соответствие опытных и расчетных данных.

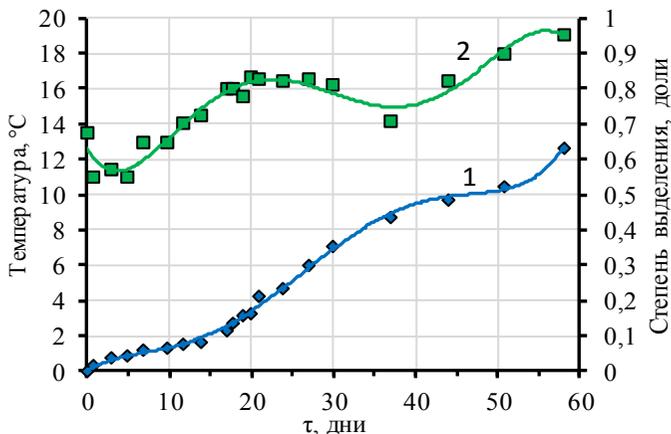


Рис. 1. Изменение степени выделения карбамида (1) во времени при переменной температуре (2) окружающей среды

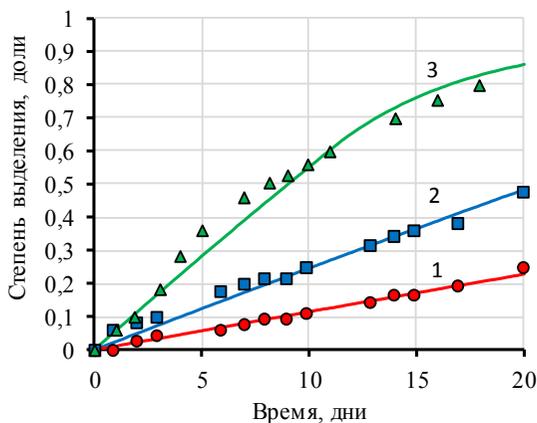


Рис. 2. Изменение степени выделения карбамида во времени при различных температурах:
1 – $t = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $t = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – $t = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$

Кривые на рис. 2 иллюстрируют прогнозные зависимости степени выделения карбамида от времени, полученные с помощью математиче-

ской модели. Среднее значение среднего квадратичного отклонения опытных и расчетных данных составило $8,41 \cdot 10^{-3}$.

Аппроксимация полученных значений эффективного коэффициента диффузии при 19, 27 и 35 °С была выполнена уравнением Аррениуса:

$$D(t) = 6,311 \cdot e^{-\frac{73540}{R \cdot (t+273)}} \quad (1)$$

Таким образом, зависимость (1) позволяет рассчитать эффективный коэффициент диффузии карбамида через полимерное покрытие при любой температуре. В дальнейшем планируется модернизировать математическую модель, представленную в статье [2], путём введения в неё зависимости (1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Controlled Release Fertilizers: A Review on Coating Materials and Mechanism of Release / D. Lawrencja [et al.] // *Plants*. 2021. Vol. 10, no. 2. Art. 238.
2. *Липин А.Г.* Кинетика высвобождения азота из гранул мочевины с полимерным покрытием / А.Г. Липин, А.А. Липин // *Известия. вузов. Химия и химическая технология*. 2022. Т. 65, № 7. С. 100-106.
3. *Lipin A.G.* Calculation of degree of coverage in fluidized bed coating / A.G.Lipin, A.A. Lipin, R. Wójtowicz // *Dry. Technol.* 2022. Vol. 40, no. 1. P. 30-41.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ КРАСОК СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ю.А. Крылова, А.Е. Терешко

Научный руководитель – **А.Е. Терешко**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Исследовано влияние различных загустителей и наполнителей на стабильность водорастворимых красок, полученных на основе пищевых красителей и пигментов.

Ключевые слова: водоразбавляемые краски, пищевые красители, пигменты, металлические пудры, загустители

FORMULATION OF SPECIAL PURPOSE PAINTS

Y.A. Krylova, A.E. Tereshko

Scientific Supervisor – **A.E. Tereshko**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The influence of various thickeners and fillers on the stability of water-dispersible paints based on food colorants and pigments has been investigated.

Keywords: water-dispersible paints, food colorants, pigments, metal powders, thickeners

Водорастворимые краски – это краски, в которых связующая основа и пигменты диспергированы (не растворены, а «введены») в водной среде и образуют устойчивую суспензию (взвесь, эмульсию). Вода не растворяет, а разбавляет находящиеся в ней компоненты. Такие краски представляют собой мельчайшие частицы полимеров, находящиеся в воде во взвешенном состоянии. После нанесения краски на поверхность вода испаряется, а полимерная пленка отвердевает.

В современном производстве лакокрасочной продукции водоразбавляемые краски пользуются спросом, так как имеют ряд преимуществ: экономичность, минимальное время высыхания, простота в использовании, безвредность и отсутствие неприятного запаха. Работая с такой краской, достаточно соблюдать минимальные требования безопасности, вследствие ее пожаро- и взрывобезопасности.[1]

Помимо этого, имеет развитие направление производства нетоксичных красок на водной основе, которые могут безопасно контактировать с кожей человека.

В связи с этим, целью работы является разработка пигментированной водоразбавляемой краски стабильного состава на основе нетоксичных пигментов.

При создании красок использовались красители и пигменты в виде формы, нерастворимой в воде, а также металлические пудры:

1. Краситель синий FD&C Blue No. 1 aluminum lake;
2. Краситель желтый FD&C Yellow No. 5 aluminum lake [2];
3. Пигмент зеленый – оксид хрома;
4. Iridesium 225;
5. Iridesium 205;
6. Iridesium 504 [3].

В качестве стабилизаторов для получения воднодисперсной системы был выбран ряд нетоксичных веществ: пищевой желатин, агар-агар, поливиниловый спирт (ПВС), полиэтиленгликоль с различной молекулярной массой (ПЭГ-400, ПЭГ-4000), загуститель на основе целлюлозы (NATROSOL 250 HBR).

В табл. 1 приведены результаты исследования совместимости пигментов с различными загустителями путем выявления наличия коагуляции в полученных смесях.

Таблица 1. Совместимость пигментов с загустителями

Коагуляция						
Загуститель	Пигмент					
	Blue No. 1	Yellow No. 5	оксид хрома	Iridesium 225	Iridesium 205	Iridesium 504
Желатин	полная	полная	нет	нет	нет	нет
Агар-агар	полная	полная	частичная	нет	нет	нет
ПВС (5% раствор)	полная	частичная	нет	нет	нет	нет
ПЭГ-400 (50%-ный раствор)	частичная	частичная	частичная	нет	нет	нет
ПЭГ-4000 (44%-ный раствор)	частичная	нет	нет	нет	нет	нет
NATROSOL 250 HBR	полная	полная	частичная	нет	нет	нет

Наиболее подходящими загустителями для системы являются ПЭГ-4000, желатин, ПВС (5%-ный водный раствор), так как практически не вызывают коагуляцию пигментов. На основании представленных выше данных, могут быть разработаны рецептуры водной фазы и исследованы стабильность и свойства красок на основе подобранных загустителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водоразбавляемые краски. URL: <https://kraska.guru/kraski/vidy/vodorastvo-rimye.html> (дата обращения: 12.03.2024).
2. SafetyDataSheet (SDS) International (GHS) Revision date: 2019-11-05.
3. Перламутровые пигменты // PRITTY: сайт. URL: https://russoindustrial.ru/products/Laki_kraski/Pigments_PRITTY_Interference (дата обращения: 12.03.2024).

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ НА ЭЛЕКТРОКРИСТАЛЛИЗАЦИЮ КОБАЛЬТА ИЗ СЕРНОКИСЛОГО ЭЛЕКТРОЛИТА

Д.С. Кудряшов, Е.С. Соболева

Научный руководитель – **Е.С. Соболева**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Приводится сравнение коррозионной стойкости и качества никелевых и кобальтовых покрытий, а также влияние концентрации катионного поверхностно-активного вещества (КПАВ) на качество кобальтового покрытия и электрокристаллизацию кобальта из сернокислого электролита.

Ключевые слова: электрохимическое осаждение, катионоактивный ПАВ, электрокристаллизация, кобальт

EFFECT OF PROCESS PARAMETERS ON ELECTROCRYSTALLIZATION OF COBALT FROM SULFURIC ACID ELECTROLYTE

D.S. Kudryashov, E.S. Soboleva

Scientific Supervisor – **E.S. Soboleva**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

A comparison of corrosion resistance and quality of nickel and cobalt coatings, as well as the influence of cationic surfactant concentration on the quality of cobalt coating and electrocrystallization of cobalt from sulfuric acid electrolyte is given.

Keywords: electrochemical deposition, cationic surfactant, electrocrystallization, cobalt

Развитие современной промышленности требует создание новых конструкционных материалов, которые бы обеспечивали надежность и долговечность работы деталей машин и механизмов.

Для получения высоких характеристик конструктивной прочности поверхностных слоев часто применяют различные методы нанесения по-

крытий, позволяющие защитить материал основы от внешних воздействий, повысить срок службы деталей и сократить расходы на ремонт изношенного оборудования.

Нанесение кобальтовых покрытий обеспечивает возможность эксплуатации деталей механизмов при повышенных температурах (800-900 С) и в газовой атмосфере [1].

В справочной литературе приводится мало информации о влиянии параметров процесса на электрокристаллизацию кобальта. Поэтому целью работы явилось изучение влияния плотности тока на выход по току кобальта и установление диапазона плотностей тока, при которых получают качественные покрытия.

Для получения кобальтовых покрытий был выбран сернокислый электролит кобальтирования [2].

Состав и технологический режим осаждения нанесения кобальтового покрытия представлены в таблице 1.

Таблица 1. Состав электролита и режим осаждения

Концентрация компонентов, г/л			pH	Температура осаждения, °С	Катодная плотность тока, А/дм ²
CoSO ₄	NaCl	H ₃ BO ₃			
300	20	40	5-6	40	1-15

В работе было исследование влияние плотности тока на выход по току в сернокислом электролите кобальтирования. Результаты представлены на рис. 1.

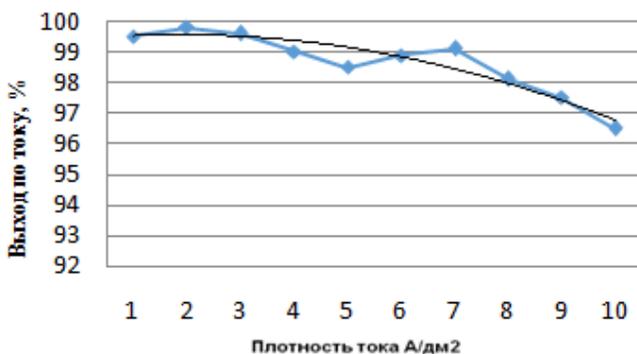


Рис. 1. Зависимость выхода по току от плотности тока в сернокислом электролите кобальтирования

Во всем диапазоне плотностей тока от 1-10 А/дм² выход по току варьируется от 99 до 95% и полученные покрытия являются качественными.

Целесообразно было сравнить коррозионную стойкость никелевых и кобальтовых покрытий при одинаковых параметрах процесса (плотность тока 2 А/дм² и толщина 15 мкм) и провести определение качества покрытия и его пористости.

При сравнении полученных образцов с никелевым и кобальтовым покрытиями, визуально выявлено, что покрытие кобальта беспористое и качество покрытия намного превосходит никелевое, а у последнего наблюдаются сквозные поры до основы.

Было проведено детальное изучение полученного покрытия при помощи микроскопа LCD серии TS3 и сделаны микрофотографии образцов кобальтового покрытия в сравнении с никелевым (рис. 2).

Пластина с кобальтовым покрытием



Пластина с никелевым покрытием

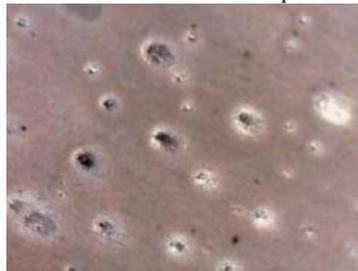


Рис. 2. Микрофотографии образцов с покрытием

По пористости можно косвенно судить о коррозионной стойкости покрытий. Методом наложения фильтровальной бумаги с реактивом хлорида натрия 20 г/л и железосинеродистый калий 10 г/л, подсчитали количество пор: кобальтовое – беспористое; в никелевом - 5 пор/см².

Поскольку кобальтовое покрытие будет использовано матрицей для создания металло-фторопластового покрытия, необходимо изучить влияние катионно-фторированного ПАВ на электрокристаллизацию покрытия.

Для этой цели с использование потенциостата модели IPC-PRO производилось снятие поляризационных кривых. Полученные данные представлены на рис. 3.

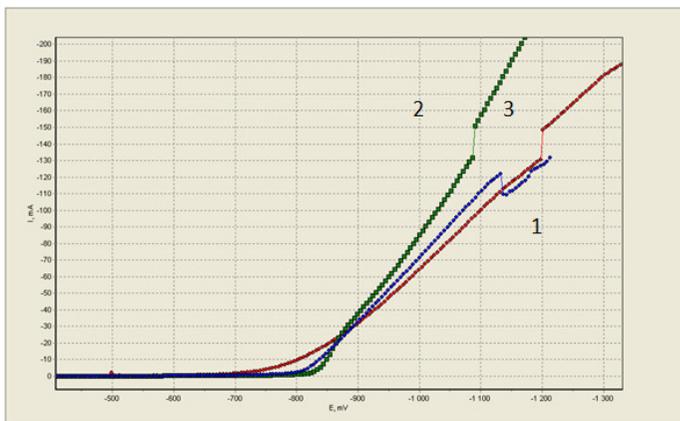


Рис. 3. Поляризационные кривые выделения кобальта из сернокислого электролита:

- 1 – электролит кобальтирования без использования ПАВ;
- 2 – электролит кобальтирования с концентрацией ПАВ 0,2 г/л;
- 3 – электролит кобальтирования с концентрацией ПАВ 3,5 г/л

Анализируя поляризационные кривые, было выявлено, что при введении ПАВ в электролит, потенциал выделения кобальта сдвигается в более отрицательную область. Это свидетельствует о сильной адсорбции фторсодержащего катионно-активного вещества, которое блокирует часть поверхности электрода, и разряд ионов кобальта происходит с трудом. Это приводит к получению мелкокристаллической структуры.

Также было замечено, что введение небольшого количества ПАВ, приводит к появлению блеска в покрытии, что говорит в пользу адсорбционной теории ПАВ.

Таким образом, в результате исследований был установлен диапазон плотностей тока (от 1 до 10 А/дм²) при котором получают качественные покрытия. Проведено изучение и сравнение коррозионной стойкости кобальтового и никелевого покрытия. Установлено, что качество и защитные свойства кобальтового покрытия превосходит никелевые. Изучено влияние концентрации ПАВ на кристаллизацию кобальтовых покрытий, путем снятия поляризационных кривых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинберг А.М. Справочник гальванотехника. М: Металлургия, 1987. 736 с.
2. Мельников П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении. М.: Машиностроение, 1979. 296 с.

УТИЛИЗАЦИЯ И ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Д.П. Лопатин

Научный руководитель: – **В.Ю. Анцев**, д-р техн. наук, профессор

Тульский государственный университет

Рассматриваются способы и перспективы утилизации и повторного использования полимерных композитных изделий

Ключевые слова: полимерные композитные изделия, переработка, рециклинг

RECYCLING AND REUSE OF POLYMER COMPOSITE PRODUCTS

D.P. Lopatin

Scientific Supervisor – **V.Y. Antsev**, Doctor of Technical
Sciences, Professor

Tula State University

The methods and prospects of recycling and reuse of polymer composite products are considered

Keywords: polymer composite products, recycling, recycling

Загрязнение окружающей среды бытовыми и промышленными отходами – одна из общемировых экологических проблем, которая в настоящий момент стоит перед промышленно-развитыми странами.

Примером переработки с целью повторного использования композитов является использование полимеров, а именно полиэтилена для его замкнутой переработки в полимерно-песчаном производстве: получение на их основе изделий различного хозяйственного назначения: крышек колодезных люков, тротуарной плитки и прочее; их использования, и последующей переработки.

Твердо-бытовые отходы (ТБО) обладают рядом отрицательных свойств: они крайне пожароопасны, проявляют токсичность, канцерогенность, мутагенность.

ТБО на 40 процентов состоят из бумажных отходов, на 25 процентов из пищевых отходов, металлы, текстиль, отходы стекла занимают до пятой части, и 15 процентов полимерные отходы [1].

Сами полимерные отходы в свою очередь состоят на четверть из полиэтилентерефталата, по 15% занимают полиэтилен высокой и низкой плотности, 12% занимает полипропилен, 6% полистирол, 5% поливинилхлорид. Оставшееся место занимают другие полимеры [2].

Использование различных смесей полимеров, добавок, наполнителей и способов их обработки, введение их в полимер как в процессе синтеза, так и при переработке позволяет получать полимерные композиционные материалы разной структуры, с требуемым набором эксплуатационных свойств.

Получение таких материалов имеет принципиальное значение: оно позволяет значительно расширить круг полимерных материалов и разнообразие их свойств уже на основе созданных и выпускаемых промышленностью полимеров. Физико-химическая модификация существующих полимеров, их комбинация с веществами иной природы, иной структуры – это один из перспективных путей создания материалов с новым необходимым комплексом свойств [5].

Переработка и повторное использование полимерных отходов являются серьезными проблемами, так как полимеры представляют собой стойкие материалы, которые не разлагаются легко. Поиск решений этой проблемы привел к появлению трех основных вариантов утилизации: захоронение на свалках, сжигание и переработка.

Традиционные методы утилизации, такие как сжигание и захоронение, стали менее приемлемыми из-за их негативного воздействия на окружающую среду и ограничений, накладываемых законодательством. Поэтому производители полимерных композитов вынуждены искать более устойчивые и экологически безопасные решения.

Захоронение на свалках является относительно дешевым, но крайне нежелательным способом утилизации, так как при этом в окружающую среду попадают вредные вещества. Ограничения на захоронение отходов постоянно ужесточаются. Кроме того, захоронение может привести к загрязнению почвы и грунтовых вод, а также выделению метана, парникового газа, в атмосферу [2].

Сжигание отходов – это процесс утилизации, который включает сжигание органических веществ, содержащихся в отходах. Это еще один широко используемый метод переработки полимерных композиционных материалов. Однако сжигание также имеет недостатки. Около 50 % композитных отходов после сжигания остаются в виде золы, требующей захоронения. Кроме того, сжигание выделяет опасные загрязнители воздуха, что требует использования сложных и дорогостоящих систем контро-

ля загрязнения. Механическая переработка: перспективы для стеклопластиковых композитов. В дополнение к традиционным методам утилизации, в последние годы внимание привлекла механическая переработка стеклопластиковых композитов (СПК). Этот процесс включает измельчение композитных отходов на мелкие частицы, которые затем можно повторно использовать в различных продуктах. После механической переработки измельченные СПК могут быть использованы в качестве наполнителя в формовочных смесях, обеспечивая структурную прочность и уменьшая использование первичных материалов. Кроме того, измельченные СПК могут использоваться для армирования асфальта и бетона, улучшая их долговечность и устойчивость к нагрузкам. Другие передовые технологии переработки полимерных отходов. Помимо механической переработки, разрабатываются и другие передовые технологии для улучшения переработки полимерных отходов. К ним относятся:

- * Химическая переработка: распад полимерных материалов на их исходные компоненты с использованием химических реакций.

- * Термическая переработка: преобразование полимерных отходов в полезные материалы, такие как топливо, газ или масло, путем воздействия высоких температур.

- * Биологическая переработка: использование микроорганизмов или ферментов для разложения полимеров на более мелкие, биоразлагаемые компоненты.

Решение проблемы полимерных отходов требует комплексного подхода, включающего разработку инновационных технологий переработки, поощрение ответственного потребления и налаживание эффективной системы управления отходами. Сотрудничество между производителями, государственными органами, учеными и потребителями имеет решающее значение для поиска устойчивых и экологически безопасных решений. Проводя исследования, внедряя инновации и внедряя передовые технологии, мы можем перейти от утилизации полимеров к их повторному использованию и переработке, что создаст циркулярную экономику и снизит воздействие пластиковых отходов на окружающую среду [4].

Одним из наиболее перспективных способов утилизации композитных отходов, получивших широкое признание в научных и промышленных кругах, является их использование после переработки в качестве альтернативного топлива в цементной промышленности. Этот метод эффективен и экологичен, поскольку позволяет полностью перерабатывать композитные отходы и извлекать из них ценные ресурсы.

В процессе производства цемента происходит термическая обработка, в результате которой композитные отходы распадаются на две составляющие:

- минеральные компоненты: диоксид кремния, карбонат кальция, оксид алюминия и другие минеральные соединения составляют около 67 % композитных отходов. Эти вещества интегрируются в клинкер, являясь сырьем для производства цемента;

органические компоненты: оставшиеся 33% композитных отходов представляют собой органическую полимерную матрицу. Она сгорает, выделяя энергию, которая используется в производственных процессах завода по производству цемента. Таким образом, весь объем композитных отходов перерабатывается без образования вредных побочных продуктов. К тому же, использование их в качестве топлива не ухудшает качество получаемого цемента, а наоборот, может улучшить некоторые его характеристики.

Литье под давлением является широко распространенным методом обработки пластических материалов, который позволяет производить изделия сложной формы с высокой точностью. Расплав полимера под высоким давлением заполняет формующую полость, а затем затвердевает, принимая заданные геометрические параметры. Преимущества литья под давлением: получение сложных деталей с элементами точных размеров, контролируемый и прогнозируемый процесс производства, возможность автоматизации и роботизации, создание функциональных элементов, таких как защелки, резьбовые соединения и т. п., непосредственно в процессе литья.

Другое применение литья под давлением: в дополнение к производству композитных деталей литье под давлением также широко используется в медицинской промышленности: изготовление протезов, хирургических инструментов и оборудования, электронике: производство корпусов для электронных устройств, компонентов и разъемов, автомобильной промышленности: изготовление деталей кузова, интерьера и двигателя, аэрокосмической отрасли: производство легких и прочных компонентов самолетов и спутников; бытовой технике: изготовление корпусов приборов, ручек, элементов управления.

Использование композитных отходов в цементной промышленности и литье под давлением полимерных материалов – это два перспективных технологических направления, которые обеспечивают эффективные решения для экологически ответственной утилизации отходов и производства высококачественных изделий. Интеграция этих инноваций в промышленные процессы способствует устойчивому развитию и снижению воздействия на окружающую среду. Дальнейшие исследования и разработки в этих областях будут приводить к еще более эффективным решениям и расширению сферы применения данных технологий в различных отраслях промышленности.

Подводя итоги, стоит также упомянуть, что технология повторной переработки полимерно-песчаных изделий позволяет снизить количество отходов и минимизировать вред от сжигания полиэтилена для окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чупрова Л.В.* Технологические особенности производства упаковки из вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ) / Л.В. Чупрова, Э.Р. Муллина // Молодой учёный. 2013. № 5. С. 123-125.
2. Исследование возможности получения композиционных материалов на основе вторичных / Л.В. Чупрова, Э.Р. Муллина, О.В. Мишурина, О.В. Ершова. URL: www.science-education.ru/118-14200 (дата обращения: 24.02.2024).
3. Технология переработки композитных материалов: современное состояние и устойчивое развитие на 2020-е годы. URL: <https://doi.org/10.3390/jcs5010028>
4. *Джейкоб А.* Композиты можно переработать. URL: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/WindEurope-Accelerating-wind-turbine-bladecircularity.pdf>
5. *Ла Мантия Ф.* Вторичная переработка пластмасс / пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. СПб.: Профессия, 2006. 400 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ В ПОЛИПРОПИЛЕН В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ФИЛАМЕНТА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

А.А. Никитина, К.Г. Кичатов, Т.Р. Просочкина

Научный руководитель – **К.Г. Кичатов**, канд. хим. наук, доцент

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Проведен анализ улучшения свойств полипропиленового филамента, а именно снижение степени кристалличности, путем добавления минерального наполнителя – карбоната кальция. Установлено, что добавление наполнителя в количестве 2,5% приводит к снижению степени кристалличности на 3,15%.

Ключевые слова: полипропилен, филамент, кристалличность, карбонат кальция

A STUDY OF THE EFFECT OF CALCIUM CARBONATE ADDITION TO POLYPROPYLENE IN THE 3D PRINTING FILAMENT PRODUCTION PROCESS

A.A. Nikitina, K.G. Kichatov, T.R. Prosochkina

Scientific Supervisor – **K.G. Kichatov**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Ufa State Petroleum Technological University

Improvement of polypropylene filament properties, namely reduction of crystallinity degree, by adding mineral filler - calcium carbonate was analyzed. It was found that the addition of filler in the amount of 2.5% leads to a decrease in the degree of crystallinity by 3.15%.

Keywords: Polypropylene, filament, crystallinity, calcium carbonate

В настоящее время в технологии FDM (Fused Deposition Modelling – получение объекта осаждением расплавленного филамента) используются различные полимерные материалы, например, полилактид PLA, акрилонитрилбутадиенстирол ABS, полиэтилентерефталат-гликоль PETG. Несмотря на то, что более распространенный полипропилен обла-

дает рядом преимуществ, например, более высокая ударная вязкость, эластичность, стойкость к агрессивным жидкостям, низкая стоимость (80-140 руб. за кг) по сравнению с ABS (325 руб./кг), PLA (450 руб./кг), PETG (450-500 руб./кг) [1-3], у полипропилена имеется существенный недостаток, не позволяющий широко использовать его для 3D-печати методом FDM – усадка при охлаждении, составляющая 0,018–0,025 мм/мм или (1,8–2,5)%, причиной которой является высокая кристалличность полимера.

Снижение кристалличности может быть достигнуто введением наполнителя, который внедряется между макромолекулами полипропилена, снижая межмолекулярные взаимодействия и препятствуя сближению макромолекул. В качестве наполнителей хорошо подходят минеральные вещества, а именно мел и тальк молотый, которые предназначены для повышения эксплуатационных качеств изделий из полимеров. Наполненный полипропилен называется компаундом [4].

Достоинствами карбоната кальция является низкая токсичность, доступность, биологическая инертность, хорошая дисперсия в полимерной матрице. Добавление карбоната кальция может уменьшить кристалличность из-за изменений условий кристаллизации. Он способен влиять на кристалличность полимеров за счет:

- Разрушения кристаллической структуры. Введение частиц карбоната кальция может нарушить укладку молекул полимера, что приводит к уменьшению кристаллической структуры материала. Это происходит из-за взаимодействия между карбонатом кальция и функциональными группами в полимере, что может привести к изменению его свойств и структуры.
- Усложнения процесса кристаллизации. Карбонат кальция может действовать как ядерное зерно, вокруг которого начинается кристаллизация полимера. Это может привести к более быстрой кристаллизации и формированию менее кристаллической структуры.

Была проведена серия экспериментов с добавлением карбоната кальция в количестве 0,5; 1; 2,5; 5%. Эксперимент проводился на одношнековом экструдере с четырьмя зонами нагрева: три зоны шнека и зона фильеры.

В качестве сырья использовался полипропилен марки Бален 01030 (гомополимер пропилен по ТУ 2211-074-05766563-2015), кальция карбонат (по ГОСТ4530-76). Смешение полимера и наполнителя проводилось с нагревом на водяной бане для лучшего распределения добавки по поверхности гранул полипропилена, далее получался филамент, который исследовался на дифференциально-сканирующем калориметре (ДСК).

Степень кристалличности рассчитывалась по площадям пика кристаллизации на термограммах. Кристалличность полипропилена марки Бален 01030 без добавки составляет 47,50%. При добавлении карбоната кальция в количестве 2,5% снижение степени кристалличности составило 3,15 процентных пункта (рис. 1).

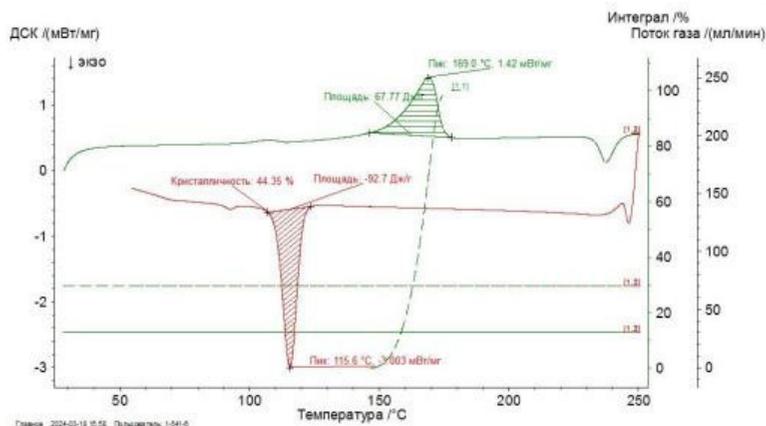


Рис. 1. Термограмма филамента полипропилена бален 01030 с 2,5% CaCO₃

Добавление большого количества наполнителя негативно сказывается на работе экструдера: появляются посторонние звуки, появляется неравномерность вращения шнека, забивается сопло, что ограничивает концентрацию наполнителя на уровне 5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Индекс цен на полимеры в России: официальный сайт. URL: <https://proplast.ru/poly-index/> (дата обращения: 15.03.2024)
2. Гранулы PLA Магазин Lexplast. URL: <https://lexplast.ru/product/%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%83%D0%BB%D1%8B-pla/> (дата обращения: 15.03.2024)
3. Bestfilament. 3D-услуги, расходные материалы для оргтехники. URL: <https://bestfilament.ru/kzn/granules-petg/> (дата обращения: 15.03.2024)
4. Морозова Е.А. Анализ свойств полипропилена с наполнением / Е.А. Морозова, М.Г. Максимова // Вестник магистратуры. 2018. № 4-3 (79). С. 8-12.

ВЛИЯНИЕ МАТИРОВАНИЯ ПОЛИЭФИРНЫХ ПОРОШКОВЫХ КРАСОК НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ

Е.М. Овсянникова, Е.А. Индейкин

Научный руководитель – **Е.А. Индейкин**, канд. хим. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

Исследованы оптические свойства полиэфирных порошковых красок в зависимости от блеска покрытия.

***Ключевые слова:** полиэфирная порошковая краска, матирование, спектр диффузного отражения, коэффициент отражения*

THE EFFECT OF MATTING OF POLYESTER POWDER COATINGS ON OPTICAL PROPERTIES

E.M. Ovsyannikova, E.A. Indeykin

Scientific Supervisor – **E.A. Indeykin**, Candidate of Chemical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

The optical properties of polyester powder coatings depending on the gloss are investigated.

***Keywords:** polyester powder coating, matting, diffuse reflection spectrum, reflection coefficient*

Одной из важных технологических задач, связанных с расширением марочного ассортимента порошковых материалов, является их матирование. Придание матовости покрытиям из термически отверждаемых порошковых красок отличается от подходов, используемых в органорастворимых красках. Поскольку порошковые краски не содержат растворителей, их растекаемость перед отверждением зависит исключительно от вязкости расплава композиции.

Известно, что изменение блеска покрытий, сформированных из пигментированных составов, связано со значительным изменением цвета. Изменяется цветовой тон, чистота цвета и светлота [2].

Для проведения исследования были выбраны полиэфирные порошковые покрытия, имеющие цвет, примерно соответствующий трем первичным цветовым стимулам, а также ахроматические (черные и белые).

Для данной работы изготавливались глянцевые и матовые порошковые краски с показателем блеска в полученном покрытии от 80 до 100 и от 20 до 30% соответственно. Материал получали предварительным сухим смешением, смешением и экструдированием с последующим измельчением и разломом экструдата. Покрытия формировались методом электростатического нанесения при температуре 200 °С в течение 10 минут.

В ходе эксперимента построены графики зависимости коэффициента отражения от длины волн (спектры диффузного отражения) для двух систем покрытий, на основе порошковых красок разного цвета.

Результаты исследований блеска и полного цветового различия сведены в табл. 1.

Таблица 1. Блеск и полное различие цвета порошковых покрытий.

Цвет	Блеск		Полное различие цвета ΔE
	Глянцевое покрытие (при 20 °)	Матовое покрытие (при 60 °)	
Белый	93,00	23,00	1,9
Черный	85,00	15,00	5,1
Красный	92,00	25,00	1,2
Синий	91,00	22,00	1,6
Зеленый	85,00	25,00	2,1

Установлено, что матирование приводит к ожидаемому снижению блеска, но при этом наблюдается изменение цвета ΔE по CIEL*a*b* от 1,2 до 5,1.

Корректировка цвета «жидких» красок производится на конечном этапе производства, в то время как для порошковых красок этот вариант не подходит. В данном случае колеровка должна производиться на стадии составления основной рецептуры. Для этого необходимы комплексные исследования цвета для широкого круга материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звонкина И.Ю. Влияние рельефа поверхности на оптические характеристики наполненных композиционных покрытий / И.Ю. Звонкина, Е.А. Индейкин // Лаккокрас. материалы и их применение. 1999. № 2-3. С. 25-26.
2. Цвет в промышленности / под ред. Мак-Дональда; пер. с англ. Пенновой И.В., Новосельцева П.П. М.: Логос, 2002. 596 с. .
3. Горловский И.А. Лабораторный практикум по пигментам и пигментированным лакокрасочным материалам. Учеб. пособие для вузов / И.А. Горловский, Е.А. Индейкин, И.А. Толмачев. Л.: Химия, 1990. 240 с.

УДК 667

ИЗУЧЕНИЕ АДсорбЦИОННЫХ СВОЙСТВ ИОНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Н.М. Смирнов, А.Е. Терешко

Научный руководитель – **А.Е. Терешко**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Исследованы адсорбционные свойства ионогенных поверхностно-активных веществ различной химической природы, построены изотермы адсорбции ПАВ на границе раздела фаз.

Ключевые слова: *поверхностно-активные вещества, адсорбция, уравнение Ленгмюра, уравнение Шшиковского*

STUDY OF THE ADSORPTION PROPERTIES OF NONIONIC SURFACTANTS

N.M. Smirnov, A.E. Tereshko

Scientific Supervisor – **A.E. Tereshko**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The adsorption properties of ionogenic surfactants of various chemical natures have been studied, and isotherms of adsorption of surfactants at the phase interface have been constructed.

Keywords: *surfactants, adsorption, Langmuir equation, Shishkovsky equation*

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) традиционно используются в водно-дисперсионных лакокрасочных материалах в качестве диспергаторов, стабилизаторов, пеногасителей, добавок для улучшения розлива. Но в таких системах всегда стремятся к минимальному содержанию ПАВ, так как их избыток может ухудшать физико-механические свойства покрытий, сформированных из водно-дисперсионных лакокрасочных материалов, ввиду адсорбции влаги молекулами ПАВ.

Совместное использование ПАВ различной химической природы может приводить к перераспределению молекул ПАВ на поверхности частиц дисперсной фазы, что позволяет снизить общую концентрацию ПАВ в системе.

Исходя из вышесказанного возникает необходимость исследования совместного действия ПАВ различной химической природы. Для этого,

прежде всего, необходимо изучить адсорбционную способность индивидуальных ПАВ.

В связи с этим, целью данной работы является изучение свойств и адсорбционной способности ионогенных ПАВ различной химической природы.

Наиболее распространенными и доступными ПАВ являются ионогенные ПАВ. В качестве объектов исследования использовались водорастворимые ионогенные ПАВ: монометилловый эфир дипропиленгликоля, выпускаемый под маркой ВУК-019, и сополимер полиэфирсилоксана, выпускаемый под маркой Tego Foamex 8050. Такие вещества применяются в водно-дисперсионных лакокрасочных материалах в качестве смачивателей, пеногасителей, диспергаторов, стабилизаторов.

Проведены исследования адсорбционной способности ПАВ на границе раздела двух фаз. Определение поверхностного натяжения проводилось по методу Вильгельми, расчёт адсорбционной способности осуществлялся по уравнению Ленгмюра и уравнению Шишковского.

Таблица 1. Экспериментальные данные для ВУК-019

Свойство	Экспериментальные данные	
	ВУК-019	Tego Foamex 8050
ККМ, моль/дм ³	0,003	0,0078125
S_0 , м ²	$2,5281 \cdot 10^{-20}$	$1,25 \cdot 10^{-21}$
Γ_{∞} , моль/м ²	$-6,5676 \cdot 10^{-3}$	0,0013

В результате исследования была определена адсорбционная способность и критическая концентрация мицеллообразования ионогенных поверхностно-активных веществ на водной основе ВУК-019 и Tego Foamex 8060 по уравнению Ленгмюра, построены изотермы адсорбции данных ПАВ, рассчитаны площади, занимаемые одной молекулой каждого ПАВ.

В ходе исследования было выяснено, что уравнение Шишковского применимо для определения удельной адсорбции ВУК-019 только в области высоких концентраций, а для расчёта удельной адсорбции Tego Foamex 8050 не применимо во всей области концентраций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамзон А.А.* Поверхностно-активные вещества / А.А. Абрамзон, Г.М. Гаевой. Л.: Химия, 1979. 376 с.
2. *Воюцкий С.С.* Курс коллоидной химии. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1975. 126 с.
3. *Ланге К.Р.* Поверхностно-активные вещества: Синтез, свойства, анализ, применение // Профессия. 2004. С. 214. 240 с.
4. *Фролов Ю.Г.* Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы М.: Химия, 1988. 464 с.

СОЗДАНИЕ МАКЕТА РЕАКТОРА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВОГО КАУЧУКА

В.С. Стрельников, К.Г. Кичатов, Т.Р. Просочкина

Научный руководитель – **К.Г. Кичатов**, канд. хим. наук, доцент

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Созданы 3D-модель и макет реактора действующего производства синтетического этиленпропиленового с сохранением пропорций основных конструктивных элементов. Выполнен электрический привод мешалки.

Ключевые слова: макет, реактор полимеризации, 3D-моделирование, 3D-печать

BUILDING A MOCKUP OF A POLYMERIZATION REACTOR FOR THE PRODUCTION OF SYNTHETIC ETHYLENE PROPYLENE RUBBER

V.S. Strelnikov, K.G. Kichatov, T.R. Prosochkina

Scientific Supervisor – **K.G. Kichatov**, Candidate of of Chemical Sciences, Associate Professor

Ufa State Petroleum Technical University

3D model and mockup of the reactor of the operating production of synthetic ethylene propylene with keeping the same proportions of the main structural elements was created. Electric drive of the agitator is made.

Keywords: mockup, polymerization reactor, 3D modeling, 3D printing

Калориметрия – это метод измерения количества теплоты, которая сопровождают химические, физические и биологические процессы. С помощью этих методов определяют теплоемкости тел, теплоты фазовых переходов и так далее [1].

Прототипированием называют процесс создания полной или частичной модели изделия при подготовке к производству, который включает в себя создание моделей итеративным и экспериментальным методом для проверки идей и концепций [1].

Макеты аппаратов химической промышленности позволяют проводить процесс обучения в интерактивном виде, формировать сложные технологические системы для тренажеров химических процессов. При этом реакторы обычно представляют собой аппараты уникальной конструкции, поэтому для каждого технологического процесса конструируется реактор, наиболее подходящий для проведения конкретного химического процесса. Также 3D-модель может быть использована для гидродинамического моделирования аппарата с целью оптимизации его работы.

Целью настоящей работы является создание макета реактора полимеризации процесса производства синтетического этиленпропиленового каучука с применением аддитивных технологий.

Трехмерная модель элементов реактора (крышка, днище, обечайки, рубашки, мешалка специальной конструкции) выполнена с применением САПР (рис. 1), которая позволяет создать 3D-модели деталей реактора, выполнить параметрический расчет напряженно-деформированного состояния деталей и сборок, визуализировать изделия, и автоматически получать и обновлять конструкторскую документацию и чертежи, выполненные по требованиям ЕСКД, а также подготовить файлы для печати моделей из полимерных материалов по технологии FDM.

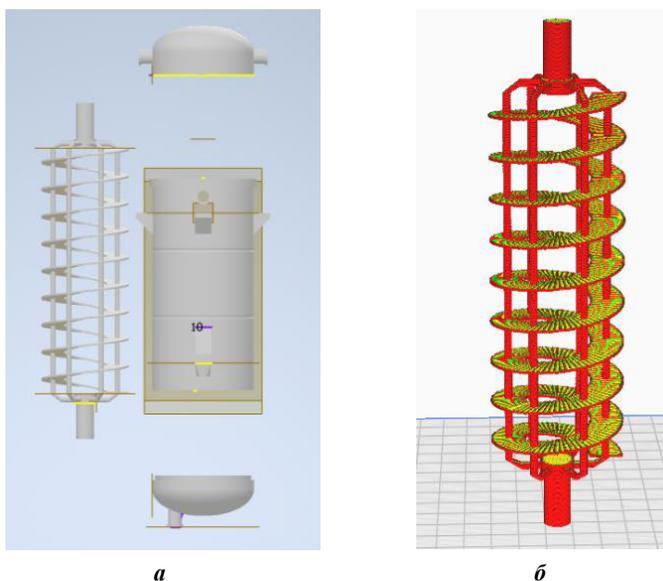


Рис. 1. 3D-модель реактора процесса производства этилен-пропиленового каучука:

а – 3D-модель реактора в САПР; *б* – модель мешалки, подготовленная к 3D-печати по технологии FDM

Макет создан на основе реактора действующего производства синтетического этиленпропиленового каучука» с сохранением пропорций основных конструктивных элементов.

Приводом мешалки является коллекторный двигатель постоянного тока с встроенным многоступенчатым редуктором. Нижней опорой мешалки является шариковый радиальный подшипник, верхней опорой – подшипник скольжения редуктора двигателя. Соединение привода и мешалки осуществляется упругой муфтой.

Процесс печати проведен на принтерах Creality Ender 3 Pro с экструдером прямой подачи для небольших деталей (крышка, днище, штуцера, элементы крепления) и Tronxy X5SA для печати обечайки реактора и мешалки. Для печати использован пластик PETG производителя BestFilament, режим печати:

- температура стола +80 °С,
- температура сопла +240 °С,
- скорость печати – 50 мм/с.

Созданный макет будет использоваться в образовательном процессе при чтении дисциплин «Химическая технология органических веществ», «Химия и технология полимеров» для повышения вовлеченности студентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гуменюк Е.П.* 10 бесплатных инструментов прототипирования. 2019. URL: <https://freelance.today/poleznoe/10-besplatnyh-instrumentov-prototipirovaniya.html> (дата обращения: 25.02.2024)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗООКСИДНЫХ ПИГМЕНТОВ И ПОКРЫТИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

М.В. Феоктистов, Я.В. Кудрявцев

Научный руководитель – **Я.В. Кудрявцев**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

Проведен сравнительный анализ железooksидных пигментов различных марок, определены их пигментные свойства

Ключевые слова: железooksидные пигменты, диспергирование, пигментные свойства, седиментация, покрытия

RESEARCH OF THE PROPERTIES OF IRON OXIDE PIGMENTS AND COATINGS BASED ON THEM

M.V. Feoktistov, Y.V. Kudryavtsev

Scientific Supervisor – **Y.V. Kudryavtsev**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

A comparative analysis of iron oxide pigments of various brands was carried out, their pigment properties were determined

Keywords: iron oxide pigments, dispersion, pigment properties, sedimentation, coatings

Наиболее доступным и распространенным способом защиты от коррозии является нанесение защитных или защитно-декоративных лакокрасочных покрытий. Долговечность квалифицированно окрашенных изделий и конструкций повышается в 2-10 раз. Пигменты в защитных покрытиях играют роль не только ингибиторов коррозии, но и защиты самого полимерного покрытия от преждевременного старения и разрушения, что дает весомый экономический эффект. [1]

Железooksидными пигментами называют пигменты, окраска которых обусловлена присутствием в них одного из окислов железа. По химическому составу железooksидные пигменты представляют собой окись железа (III) и гидрат окиси железа (III). Эти соединения в чистом виде, в смеси между собой и в смеси с наполнителем представляют собой весь комплекс железooksидных пигментов (желтые, красные черные, коричневые).

Железооксидные пигменты обладают высокой укрывистостью и интенсивностью, они стойки к действию света, солей, слабых кислот и щелочей, непрозрачны для ультрафиолетовых лучей и придают красочной пленке значительную механическую прочность и непроницаемость для влаги (красные пигменты обладают термостойкостью). Их смеси с цинковым кроном и свинцовым суриком стойки к коррозии. [1, 2]. По химическому составу железооксидные пигменты представляют собой окись железа, гидрат окиси железа или закись-окись железа. Эти соединения в чистом виде или в смеси между собой и в смеси с наполнителями образуют весь комплекс железооксидных пигментов [2].

Но такие пигменты могут отличаться вариабельностью свойств в зависимости от марки или производителя, что будет сказываться на стабильности лакокрасочного материала, физико-механических и колористических свойствах наполненных ими полимерных покрытий.

В связи с этим целью работы является сравнительное исследование свойств красных железооксидных пигментов различных производителей и покрытий на их основе.

В связи с дефицитом металлического железа для синтеза железооксидных пигментов перспективным направлением является получение железооксидных пигментов из железосодержащих отходов металлургических производств. Ранее нами был получен железооксидный пигмент из оксида железа – отхода металлургического производства.[3] Таким образом возникает необходимость сравнения его с пигментами, полученными традиционным способом.

Таким образом, объектами исследований являются: 1 - красный железооксидный пигмент (производства Казахстан), 2 - красный железооксидный пигмент (производства Китай) и 3 - красный железооксидный пигмент, полученный из отхода металлургического производства [3].

Исследованы пигментные свойства образцов железооксидного пигмента. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Пигментные свойства анализируемых железооксидных пигментов

Показатель	Пигмент 1	Пигмент 2	Пигмент 3
Средний размер частиц, мкм	2,6	1,2	0,9
Наивероятнейший размер частиц, мкм	1,29	0,73	0,45
Содержание железа, %	95,7	98,3	94,5
Маслоемкость, г/100 г	19,8	20,6	11,94
Укрывистость, г/м ²	6,47	7,55	10,14
Содержание водорастворимых солей, %	0,55	0,78	0,66
pH водной суспензии	5,61	6,42	8,95
Красящая способность, %	40,04	39,72	40,84

Из данных таблицы 1 видно, что все образцы пигментов обладают хорошими пигментными свойствами, отвечающими требованиям для железоксидных пигментов высокого качества, высокой укрывистостью, хорошей дисперсностью, низким содержанием водорастворимых солей и высоким содержанием железа. Однако необходимо отметить, что образец 3, полученный из отхода, обладает более высокой дисперсностью, по сравнению с промышленными образцами, что обеспечивает его лучшее распределение в объеме покрытия. Кроме того, образец 3 отличается более низким значением маслосмолности, что позволит получать на его основе полимерные покрытия с более высоким наполнением.

Таким образом, проведенные сравнительные испытания показывают, что все исследуемые образцы пигментов обладают хорошими пигментными свойствами, а пигмент, полученный из отхода металлургического производства, превосходит другие образцы по показателям дисперсности и маслосмолности. Следовательно, данные образцы пигментов могут быть рекомендованы для получения лакокрасочных материалов на их основе и исследования влияния свойств железоксидных пигментов на свойства покрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ермилов П.И.* Пигменты и пигментированные лакокрасочные материалы: учебное пособие для вузов / П.И. Ермилов, Е.А. Индейкин, И.А. Толмачев. Л.: Химия, 1987. 198 с.
2. *Беленький Е.Ф.* Химия и технология пигментов. 3-е изд., перераб. и доп. / Е.Ф. Беленький, И.В. Рискин. Л.: Госхимиздат, 1960. 757 с.
3. *Кудрявцев Я.В.* Получение железоксидных пигментов из отходов металлургического производства / Я.В. Кудрявцев, А.Е. Терешко // Международная научная конференция «Теория и практика процессов химической технологии (Марушкинские чтения)». Уфа, ноябрь 2021. С. 357-358.

КАТАЛИЗАТОРЫ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

**А.П. Черепанов, М.А. Климкин, С.П. Ломакин,
Т.Р. Просочкина**

Научный руководитель – **М.А. Климкин**, канд. хим. наук

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Рассматривается использование титан-магниевого катализатора в процессах полимеризации, а также его взаимодействие с различными донорами. Также внимание уделяется сравнению жидкофазной и газофазной полимеризации на основе данного катализатора.

Ключевые слова: титан-магниевые каталитические системы, полипропилен, жидкофазная полимеризация, газофазная полимеризация, внешний и внутренний донор

POLYMERIZATION CATALYSTS

**A.P. Cherepanov, M.A. Klimkin, S.P. Lomakin,
T.R. Prosochkina**

Scientific Supervisor – **M.A. Klimkin**, Candidate of of Chemical Sciences

Ufa State Petroleum Technical University

The use of a titanium-magnesium catalyst in polymerization processes is considered, as well as its interaction with various donors. Attention is also paid to the comparison of liquid-phase and gas-phase polymerization based on this catalyst.

Keywords: titanium-magnesium catalytic systems, polypropylene, liquid-phase polymerization, gas-phase polymerization, external and internal donor

В современном обществе полимерные материалы занимают ведущее положение в различных отраслях промышленности, включая упаковку, строительство и медицинские приложения [1]. Среди разнообразия полимеров особенно выделяется полипропилен своей универсальностью и прочностью, что придает ему выдающееся положение на рынке. Этот полимер не только широко применяется в производстве различных изде-

лий, но также активно изучается с целью улучшения его свойств и оптимизации производственных процессов.

В области современных полимерных технологий гетерогенный катализатор Циглера-Натта занимает ведущее положение, как ключевой элемент в синтезе полипропилена. Этот тип катализатора представляет собой комплексные металлоорганические соединения, обладающие уникальной способностью и точностью контроля полимеризации пропилена. Развитие и оптимизация гетерогенных катализаторов Циглера-Натта стали основой для эффективного и экономически обоснованного производства полипропилена с различными структурными и физико-химическими характеристиками.

Гетерогенные катализаторы играют ключевую роль в обеспечении высокой изотактичности полипропилена, что крайне важно для обеспечения его механической прочности и термической стабильности. Исследование и понимание механизмов, лежащих в основе функционирования гетерогенного катализатора Циглера-Натта, не только способствуют улучшению качества полипропилена, но также позволяют эффективно управлять его свойствами в соответствии с конкретными потребностями промышленных секторов [2].

Сложные соединения четвертого поколения промышленных каталитических систем (КС) для полимеризации пропилена (ПП) основаны на титан-магниево катализаторах (ТМК).

Эти системы включают следующие компоненты, представляя собой сложную комбинацию выраженную брутто-формулой $(MgCl_2)_x \cdot (TiCl_4)_y \cdot (D_1)_z$, где x , y , z - стехиометрические коэффициенты, выраженные в массовых долях ингредиентов, изменяющиеся в пределах: $x = 0,75 \dots 0,84$; $y = 0,06 \dots 0,09$; $z = 0,1 \dots 0,16$, где D_1 представляет собой "внутреннее" электронодонорное соединение (донор); а также содержащую алюминийорганический сокатализатор – $Al(Et)_3$.

Таблица 1. Состав КС

Комбинация КС	Внутренний донор	Внешний донор	M_w/M_n
$MgCl_2/TiCl_4/$ фталат- AlR_3 - алкоксисилан	Эфиры ортофтале- вой кислоты	Диалкил, диалкоксисилан	7...8
$MgCl_2/TiCl_4/$ сукцинат- AlR_3 - алкоксисилан	Эфиры янтарной кислоты	Диалкил, диалкоксисилан	12...15

Также в процессе получения ПП используется стереорегулирующее соединение, которое подается отдельно («внешнее» электронодонорное соединение) – D_2 (донор).

В настоящее время широко используются сочетания "MgCl₂/TiCl₄/фталат–AlR₃–алкокси-силан" в производстве разнообразных типов полимеров для общего назначения. Эти комбинации применяются в различных областях производства, включая гомополимеры, статистические и гетерофазные сополимеры пропилена с этиленом. Аналогично, "MgCl₂/TiCl₄/сукцинат–AlR₃–алкоксисилан" используются для получения полипропилена с разнообразными характеристиками, включая широкий диапазон значений отношения молекулярных масс (ММР) [3].

Варьируя количество донора в ТМК, можно изменять характеристики получаемого ПП. Так, в диссертациях [4-5] можно рассмотреть влияния внешнего и внутреннего донора на КС.

В рассматриваемой технологии Spheripol компании «Basell» используются два типа реактора: жидкофазный и газофазный. Условия проведения реакции, соответственно, отличаются: в петлевом реакторе, который относится к жидкофазной полимеризации, температура – 71-73 °С, давление – 4 МПа, средняя плотность слоя в пределах – 500-570 кг/м³, в газофазном реакторе температура – 78-82 °С, давление – 1,4 Мпа (изб.), средняя плотность слоя в пределах – 250-350 кг/м³.

В связи с уход западных компаний возникла проблема с получением ТМК необходимого качества и актуальным становится поиск катализаторов полимеризации, потенциально применимых для использования в технологии Spheripol компании «Basell».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ мирового рынка полипропилена в 2018-2022 гг., прогноз на 2023-2027 гг. // *BusinesStat*: электронный журнал. URL: <https://businesstat.ru> (дата обращения: 10.02.2024)
2. *Слямов Е.Ж.* Технология полимеризации полипропилена / Е.Ж. Слямов, С.Р. Масакбаева // *The Scientific Heritage*. 2021. №67-2. URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 22.02.2024)
3. Промышленные испытания новой модификации титан-магниевого катализатора полимеризации пропилена / А.Р. Ионов, В.К. Дудченко, А.А. Трубоченко [и др.] // *Известия Томского политехнического университета*. 2012. Т. 321, № 3. С. 110-115.
4. *Батыршин А.З.* Особенности полимеризация пропилена в жидком мономере в присутствии отечественных титан-магниевых катализаторов ТМК-ИК: автореф. дис. ... кан. хим. наук. Москва, 2019. 18 с.
5. *Маслов Д.К.* Исследование процесса формирования титанмагниевых катализаторов полимеризации пропилена: влияние электронодонорных соединений: дис. ... канд. хим. наук. Новосибирск, 2022. 117 с.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АМИНОСИЛОКСАНОВ

А.В. Яковлева, М.В. Кузьмин, О.А. Колямшин

Научный руководитель – **О.А. Колямшин**, канд. хим. наук, доцент

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Взаимодействием 3-аминопропилтриэтоксисилана с дифенилсиландиолом был синтезирован аminosилоксан. Полученное соединение может быть использовано в качестве промоторов адгезии и для улучшения физико-механических свойств эпоксидных компаундов.

Ключевые слова: аminosилоксаны, дифенилсиландиол, 3-аминопропилтриэтоксисилан, промоторов адгезии, эпоксидные компаунды

SYNTHESIS AND RESEARCH OF AMINOSILOXANES

A.V. Yakovleva, M.V. Kuzmin, O.A. Kolyamshin

Scientific Supervisor – **O.A. Kolyamshin**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov

Aminosiloxanes were synthesized by the interaction of 3-aminopropyltriethoxysilane with diphenylsilanediol. The obtained compound can be used as promoters of adhesion and improving the physical and mechanical properties of epoxy compounds.

Keywords: aminosiloxanes, diphenylsilanediol, 3-aminopropyltriethoxysilane, adhesion promoters, epoxy compounds

Аминосилоксаны – важные продукты, которые применяются как технологические добавки в различных отраслях промышленности, таких, как производство поверхностно-активных веществ, промоторов адгезии, клеящих веществ и уплотнителей, покрытий, пластмасс, тканей, медицинского оборудования, косметики и др. Кроме того, может быть эффективно применено в химической промышленности.

Для синтеза аminosилоксана были использованы 3-аминопропилтриэтоксисилан и дифенилсиландиол.

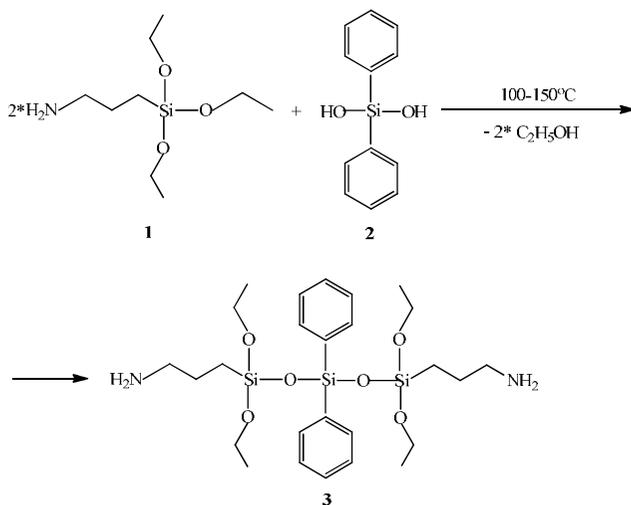


Рис. 1. Схема взаимодействия 3-аминопропилтриэтоксисилана (1) с дифенилсиландиолом (2)

Процесс проводили в мольном соотношении 2:1 при постепенном повышении температуры от 100 до 150 °С с одновременной отгонкой выделяющегося этилового спирта. По данным ИК- и ЯМР ¹Н-спектров продуктом реакции является 3,3'-(3,3-дифенил-1,1,5,5-тетраэтокситри-силоксан-1,5-диил)бис-(пропан-1-амин) (3), который образуется с выходом 99,5% в виде светло-желтой маслянистой жидкости (рис. 1). Чистоту образующегося диаминотрисилоксана (3) контролировали методом ТСХ, состав определяли на основании данных элементного анализа, а строение подтверждали методами ИК- и ЯМР ¹Н-спектроскопии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование влияния алканоламинов на свойства эпоксиангидридных композиций / Л.Г. Рогожина, М.В. Кузьмин, В.А. Игнатьев, О.А. Коляшнин, Н.И. Кольцов // Журн. прикл. химии. 2016. Т. 89, вып. 11. С. 1481-1487.
2. Структура и свойства оксидных композитов, отвержденных новыми кремнийсодержащими аминами / А.И. Загидуллин, М.В. Колпакова, Р.М. Гарипов, О.В. Стоянов // Клеи. Герметики. Технологии. 2008. № 1. С. 17-19.
3. *Debdatta Ratna*. Modification of epoxy resins for improvement of adhesion: a critical review // Journal of Adhesion Science and Technology. 2003. Vol. 17, no. 12. P. 1655-1668.
4. *Петько О.И.* Эпоксидные связующие для изготовления профильных стеклопластиков и тел вращения / О.И. Петько, И.П. Петько // Пластмассы. 2008. № 10. С. 38-39.

**СЕКЦИЯ
«ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ
И БЕЗОПАСНОСТЬ»**

УДК 004.67

**НАПРАВЛЕНИЯ ПОИСКОВЫХ РАБОТ В ОБЛАСТИ
ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ
ВОДООЧИСТКИ**

М.Ю. Баланюк, М.Ю. Вождяева

Научный руководитель - **М.Ю. Вождяева**, д-р хим. наук,
профессор

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Анализируются основные направления научных разработок в области промышленной водоочистки. Выделяются наиболее популярные способы оптимизации технологий.

***Ключевые слова:** промышленная водоочистка, патентный поиск, математическое моделирование*

**DIRECTIONS OF SEARCH WORK IN THE FIELD
OF OPTIMIZATION OF INDUSTRIAL WATER TREATMENT
TECHNOLOGIES**

M.Y. Balanyuk, M.Y. Vozhdaeva

Scientific Supervisor – **M.Y. Vozhdaeva**, Doctor of Chemical
Sciences, Associate Professor

Ufa State Petroleum Technical University

A search query in the field of industrial water treatment is analyzed. The most popular ways to optimize the technology are highlighted.

***Keywords:** industrial water treatment, patent search, mathematical modeling*

Процессы нефтепереработки и нефтехимии относятся к процессам с большим потреблением воды. Расход свежей воды составляет в среднем

2,5 м³ на 1 т перерабатываемой нефти. Вода используется в системах оборотного теплоснабжения, в процессах щелочной очистки и доочистки готовой продукции, например, для удаления из нефтепродуктов сероводорода, низших меркаптанов и нефтяных кислот. Образующиеся при этом сточные воды могут иметь различный специфический состав. Так по своему составу отличаются вода после обессоливания нефти, «кислые» конденсаты каталитического крекинга и гидрокрекинга, сточные воды после пиролиза, сернисто-щелочные стоки, возникающие в результате переработки сернистой нефти. Основными загрязняющими веществами в сточных водах нефтеперерабатывающих предприятий являются нефтепродукты, различные органические соединения, фенолы, взвешенные вещества, соли, аммонийный азот и растворенный сероводород, хлориды, фенолы, нафтеновые кислоты, сульфиды и сероводород, меркаптаны, органические кислоты и альдегиды [1].

Несмотря на то, что нефтеперерабатывающие и нефтехимические компании держат курс в направлении повторного использования воды в процессах, часть её после очистки сбрасывается в окружающую среду. С каждым годом природоохранное законодательство, определяющее требования к качеству сбрасываемых очищенных сточных вод, и контроль его выполнения промышленными предприятиями в разрезе снижения негативного воздействия на водные объекты ужесточаются [2]. Таким образом, разработка новых технологий очистки промышленных стоков или оптимизация существующих является актуальным направлением развития науки и техники.

В работе проанализированы патентные разработки в области промышленной водоподготовки за последние годы. В качестве основных направлений научно-поисковых работ в области оптимизации существующих технологий водоочистки можно выделить несколько направлений:

1-е направление: применение новых реагентов, штаммов микроорганизмов. В настоящее время наибольший интерес в данном направлении вызывают патенты, предлагающие в качестве реагентов использовать вещества, не причиняющие вред окружающей среде и не требующие особого способа утилизации. Авторами патента (RU 2 736 497 С1) очистку сточных вод от ионов металлов, нефтепродуктов, органических загрязнений и запаха после механической очистки и перед биологическими прудами предлагается осуществлять с использованием композиций адсорбционно-фильтрующих материалов на основе растительных отходов: модифицированных лигноцеллюлозосодержащих материалов - кислотообработанных плодовых оболочек зерен ячменя - КПОЗЯ, овса - КПОЗО, пшеницы - КПОЗП, термически обработанных плодовых оболочек зерен овса – ТПОЗО и др. После обработки указанными материалами сточные

воды направляют в горизонтальный отстойник для сорбции и отстаивания. Предложенный способ очистки сточных вод снижает нагрузку на биологические очистные сооружения. В изобретении (RU 2 579 578 C2) для очистки сточных вод от тяжелых солей металлов предложено использовать природный торфосодержащий материал. Привлек внимание патент (RU 2 189 949 C2), в котором представлена идея добавки катализатора для очистки сточных вод от нефтепродуктов и ионов тяжелых металлов, представляющий собой смесь фталоилжелатина, перекиси кальция, полистирол-азо-салициловой кислоты и сульфата железа (II) в определенной пропорции. Катализатор разлагает органические вещества и одновременно адсорбирует соли тяжелых металлов, что позволяет просто и высокоэффективно очищать сточные воды при относительно небольшой стоимости. При изготовлении катализатора применяют недефицитные и нетоксичные реагенты. Работа (RU 2 658 134 C2) представляет изобретение нового штамма дрожжей *Rhodotorula glutinis*, обладающего нефтеокисляющей способностью. Штамм депонирован во Всероссийской Коллекции Микроорганизмов Института биохимии и физиологии микроорганизмов им. Скрябина РАН, направлен в первую очередь для очистки сточных вод от полиароматических углеводов и других загрязнителей нефтяного происхождения. Запатентованный метод (RU 2 709 534 C2) также предлагает внесение в очищаемую сточную воду промышленных предприятий биомассы дрожжей в виде отходов пивоваренных производств, содержащих ассоциацию дрожжей различных штаммов *Saccharomyces cerevisiae*.

2-е направление: усовершенствование технологического оформления очистки сточных вод. В работах этого направления предлагается как усовершенствование старых, так и кардинально новые виды установок. Наибольший акцент делается на установках, в которых присутствуют биореакторы, благодаря минимальному влиянию последних на окружающую среду. Авторами работы (RU 142 482 U1) разработана конструкция биоплато с высшей водной растительностью и дополнительно введенными в него микрофлорой и микроорганизмами, имеющих в своем составе штаммы бактерий псевдомонасы, родокков и дрожжей кандиды и других микроорганизмов – деструкторов нефтяных углеводов. Конструкция представляет собой контейнеры из эластичного полотна, внутреннее пространство которых заполнено известняком и указанным био-наполнением. Отмечаются работы, связанные с использованием ультрафиолета в качестве дополнительной очистки (RU 2 652 190 C1, RU 2 800 479 C2). Авторами патента (RU 2 813 075 C1) предложен способ, включающий механическую очистку вод от твердых включений, гомогенизацию, ошелачивание, обработку кавитацией. Отличительной чертой является кавитационная обработка сточных вод в аппарате с вихревым слоем.

Вращающееся магнитное поле с добавленными ферромагнитными элементами позволяет резко повысить эффективность дальнейшей стадии флотационной очистки сточной воды перед обеззараживанием.

3-е направление: математические методы управления технологическим процессом на всех его стадиях, в том числе на стадии оптимизации доз добавляемых при очистке реагентов и их смесей. Традиционно расчет доз проводится на пилотных установках лабораторно-опытным путем. Такой подход достаточно трудоемок, требует затрат времени и имеет недостаток, связанный с невозможностью воссоздать в лабораторных условиях весь процесс и его параметры, например, накапливание осадков, наличие биопленок на стенках труб и резервуаров, наличие пристеночных эффектов в лабораторных установках. Математическое моделирование помогает в изучение реальных процессов, аппаратов и систем, заменяя их на математические зависимости. Существует множество работ на эту тему, из относительно новых можно выделить работы Н.В. Смирнова, А.Н. Кириллова и П.И. Новикова. В работе 2016 года ими была разработана модель биоочистки сточных вод в аэротенке-смесителе [3]. Данная модель позволяла получить начальные значения модельных концентраций, необходимые для практического применения модели в поисках оптимальных параметров процесса. В последующем был разработан программный комплекс по моделированию процесса биоочистки с кусочно-постоянным часовым расходом сточных вод на языке программирования Python [4]. Данный программный комплекс позволил предположить изменение параметров во времени. Смоделированные параметры сравнили с экспериментальными параметрами, полученными на установке в г. Петрозаводске. При сравнении было выявлено, что модель адекватна и подходит для последующих расчетов. Авторами работы [5] рассмотрено математическое моделирование и управление процессами в системах автоматизации промышленных установок с помощью многозначных нейронных сетей. Авторы статьи заметили, что работающая и адекватная модель технологического процесса позволяет прогнозировать значения технологических параметров (расход, время контакта и др.), что приводит к решению обратной задачи моделирования – управлению. Патентных разработок по данному направлению не найдено.

Таким образом, на основе проведенного анализа выявлено, что на сегодняшний день основное направление поисковых работ в области оптимизации промышленной водоочистки направлено на поиск новых реагентов и их смесей, позволяющих увеличить эффективность очистки для снижения антропогенного влияния сбрасываемых очищенных сточных вод на окружающую среду. Уменьшение отходов производства, вторичное применение продуктов, модификация используемых технологий – проверенные методы для оптимизации процесса. При этом математиче-

ское моделирование с использованием имеющихся баз данных о процессе является одним из наиболее перспективных, т.к. позволяет находить оптимальные параметры процесса без их воспроизведения в лабораторных условиях и затрат на реконструкцию имеющихся технологических установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абросимов А.А.* Экология переработки углеводородных систем. М.: Химия, 2002. 608 с.
2. *Киравосьянц Д.А.* Правовое регулирование сброса сточных вод в Российской Федерации с точки зрения экологической безопасности // *Право и государство: Теория и практика.* 2022. № 6. С. 86-89. DOI 10.47643/1815-1337_2022_6_86.
3. *Кириллов А.Н.* Математическая модель оптимизации процесса биоочистки сточных вод / А.Н. Кириллов, Н.В. Смирнов // *Труды Карельского научного центра РАН.* 2016. №8. С. 55-61.
4. *Смирнов Н.В.* Компьютерное моделирование процесса биоочистки с кусочно-постоянным часовым расходом сточных вод / Н.В. Смирнов, П.И. Новиков // *Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления.* 2017. №2017. С. 134-149.
5. *Мещеряков В.Н.* Математическое моделирование и управление процессами в системах автоматизации промышленных установок с помощью многозначных нейронных сетей / В.Н. Мещеряков, О.В. Мещерякова, П.В. Сараев // *Пробл. управл.* 2013. №6. С. 71-75.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ СУЛЬФИДОВ В КОНТЕКСТЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ СТОКОВ КОЖЕВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.А. Борзенко, М.А. Жаров, С.В. Хатюшин

Научный руководитель – **С.В. Хатюшин**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

В статье исследуются окислительные процессы сульфидов с целью улучшения технологий очистки стоков кожевенного производства. Разработанные на основе полученных данных предложения по оптимизации технологий очистки могут применяться на практике кожевенных производств для снижения уровня загрязнения и повышения экологической безопасности.

Ключевые слова: каталитическое окисление, сульфидные стоки, очистка стоков кожевенного производства

INVESTIGATION OF OXIDATIVE PROCESSES OF SULFIDES IN THE CONTEXT OF IMPROVING TECHNOLOGIES FOR WASTE WATERTREATMENT IN THE LEATHER INDUSTRY

V.A. Borzenko, M.A. Zharov, S.V. Khatyushin

Scientific Supervisor – **S.V. Khatyushin**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

The article examines the oxidative processes of sulfides in order to improve the technology of wastewater treatment in the leather industry. Proposals for optimizing cleaning technologies developed on the basis of the data obtained can be applied in practice in leather industries to reduce pollution and improve environmental safety.

Keywords: catalytic oxidation, sulfide effluents, purification of tannery effluents

Экологическая значимость проблематики обработки промышленных отходов, в частности стоков кожевенного производства, обуславливает необходимость поиска и применения различных подходов к их очистке. В настоящей работе акцент делается на изучении окислительных процессов сульфидов - одного из элементов, определяющего степень токсичности сточных вод.

Основу исследования составляет стремление более глубокого понимания процессов окисления сульфидов и их роли в загрязнении стоков кожевенного производства. Особое внимание уделяется изучению возможностей применения метода каталитического окисления для обработки и нейтрализации загрязнения.

В качестве образцов для анализа используются пробы, взятые с предприятия по производству кожи - АО "ХРОМ". Данные образцы представляют собой наглядный пример загрязнений, присутствующих в стоках, образующихся в процессе кожевенного производства.

Каталитическое окисление кислородом воздуха сульфидных стоков представляет собой сложный химический процесс, основанный на использовании катализаторов для стимулирования реакции окисления. Фундаментально этот процесс можно описать следующим образом:

В первую очередь, происходит введение в стоки специальной каталитической смеси, содержащей реагенты, способствующие ускорению окислительной реакции. Затем система подвергается достаточной воздушной или кислородной аэрации. Под действием кислорода воздуха и катализаторов, сульфиды в стоках окисляются до сульфатов, сопровождаясь выделением тепла.

Одним из оснований для применения данного метода является его высокая эффективность. При правильном выборе катализатора и поддержании оптимальных условий реакции, можно достичь более 90% окисления сульфидов. Этот процесс также отличают меньшие энергетические затраты по сравнению с традиционными методами, поскольку большую часть энергии для окисления обеспечивает тепло, выделяющееся в ходе реакции окисления. Наконец, каталитическое окисление воздухом также облегчает обработку и переработку образующихся сульфатов, которые являются конечными продуктами реакции, и обладают значительно меньшей токсичностью по сравнению с сульфидами.

На этапе исследования был выполнен детальный анализ использования различных катализаторов в процессе каталитического окисления, включая катализаторы на основе текстильных объемных структур и растворимых солей никеля и марганца, применяемых в кожевенной промышленности. После тщательного изучения полученных данных и проведения системного сравнительного анализа было принято решение о предпочтительности сульфата марганца в качестве наиболее эффективного катализатора для указанного процесса.

Выбор сульфата марганца обоснован его высокой каталитической активностью, способностью обеспечить эффективное ускорение реакции окисления сульфидов и стабильностью при условиях проведения процесса в очистке стоков кожевенного производства. Также стоит отметить, что сульфат марганца демонстрирует значительную эффективность в

превращении сульфидов в менее токсичные сульфаты, что делает его оптимальным выбором для обеспечения эффективной очистки стоков.

В отобранные пробы был добавлен сульфат марганца в различных концентрациях. Применяя рН-метр для определения уровня кислотности (рН) каждого из образцов и триметрический метод, позволяющий определить количество ионов водорода в растворе, можно получить информацию о концентрации сульфидов в системе. Результат анализа полученных данных отражён в графике (рис. 1).

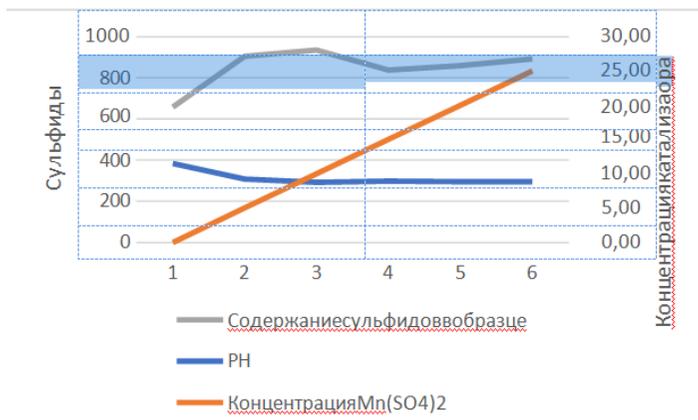


Рис. 1. График полученных при исследовании данных

Реализация метода каталитического окисления сульфидов кислородом воздуха в технологии кожевенного производства на этапе очистки сульфидного стока, потребует доработки существующей системы очистки. Для реализации этого процесса требуется строительство или модернизация существующих систем обеззараживания сточных вод для подачи необходимого количества кислорода. Это может быть достигнуто путем интенсификации аэрации в реакторах или использовании специальных диффузоров. Дозирование катализатора также является важным аспектом этого процесса. Катализатор (например, сульфат марганца) добавляется в сточные воды в определенной пропорции и помогает ускорить процесс окисления. Этот подход эффективно сводит к минимуму количество токсичных осадков и значительно снижает негативное воздействие на окружающую среду. В дополнение к этим экологическим выгодам, из-за производительности этого процесса, это также приводит к сокращению затрат на процесс очистки, делая его экономически привлекательным для предприятий. Процесс окисления основан на взаимодействии катализатора (например, сульфат марганца) с сульфидами в стоке. Катализатор активирует процесс окисления сульфидов, которые в результате превраща-

ются в сульфаты. Итогом этого процесса является переход сульфида (S) к сульфату (SO₄). При этом происходит более эффективное удаление сульфидов и улучшение качества сточных вод, что приводит к снижению их токсичности.

Применение метода каталитического окисления сульфидов кислородом воздуха приводит к значительному улучшению в качестве сточных вод. Токсичные сульфиды превращаются в сульфаты, что уменьшает общую токсичность стоков. Это приводит к снижению негативного влияния на окружающую среду и улучшению общего состояния экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Биненко В.И.* Окислительная деструкция органических и неорганических загрязнений в сточных водах на волокнистых катализаторах / В.И. Биненко, Р.Ф. Витковская, С.В. Петров, Л.Н. Быкова // Вода: химия и экология. 2017. № 4(106). С. 29-36.
2. Очистка сернисто-щелочных сточных вод окислительными методами / Э.Ф. Ямалдинова, С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22, № 8. С. 117-119.
3. *Тихонова Н.А.* Анализ методов очистки сточных вод от сульфидов / Н.А. Тихонова, Ю.Н. Мукминова, О.И. Ручкинова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. 2011. № 4(4). С. 138-151.
4. *Лурье Ю.Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод. Москва: Издательство "Химия", 1984. 448 с.

ПОЛИМЕРНЫЙ ПОРОШОК ИЗ ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНА

М.Ф. Бычков, А.Г. Липин

Научный руководитель – **А.Г. Липин**, д-р техн. наук, профессор

Ивановский государственный химико-технологический университет

Приведены результаты экспериментального исследования процесса переработки вторичного полиэтилена низкой плотности в порошок в лабораторном шнековом аппарате. Установлен характер влияния режимных параметров на эффективность процесса.

Ключевые слова: полиэтилен, отходы, порошок, шнековый аппарат, переработка

POLYMER POWDER FROM POLYETHYLENE WASTE

M.F. Bychkov, A.G. Lipin

Scientific Supervisor – **A.G. Lipin**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Ivanovo State University of Chemical Technology

The results of an experimental study of the process of processing recycled low-density polyethylene into powder in a laboratory screw machine are presented. The influence of the operating parameters on the efficiency of the process has been established.

Keywords: polyethylene, waste, powder, screw machine, recycling

Переработка отходов полимерных материалов с целью получения полимерных порошков имеет большое значение не только с позиции охраны окружающей среды, но и с точки зрения сокращения расхода первичных полимеров, поскольку в условиях дефицита сырья полимерные отходы являются мощным сырьевым ресурсом [1].

Полимерные порошки используются в качестве наполнителей, входящих в состав различных композиционных материалов, порошковых красок, сорбентов нефти и нефтепродуктов, для нанесения высокоэффективных антикоррозионных покрытий, в качестве материалов для аддитивных технологий.

Создание непрерывно действующих технологических линий по переработке полимерных отходов в порошки возможно на базе роторно-

шнековых аппаратов [2]. В таком аппарате (рис. 1) реализуется метод упруго-деформационного диспергирования [3].

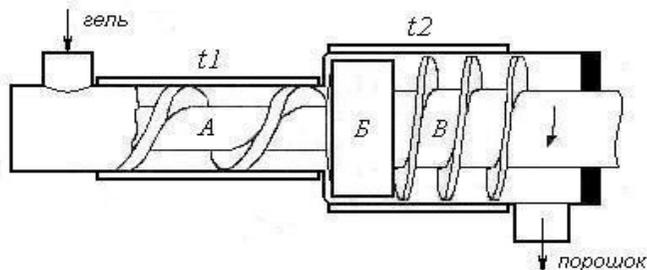


Рис. 1. Схема роторно-шнекового аппарата

Гель полимера поступает в дозирующую камеру (А), где его температура поддерживается с помощью теплоносителя, циркулирующего через рубашку зоны А. Из дозирующей камеры материал под давлением поступает в концентрический зазор измельчительной камеры (Б), стенки которой охлаждаются с помощью хладагента циркулирующего через рубашку аппарата. Полимер переходит в стеклообразное состояние при одновременном воздействии на него сдвиговых деформаций, вызываемых вращением мелющего ротора, в результате чего наблюдается образование тонкодисперсного порошка, который поступает в зону (в), где осуществляется удаление растворителя путем испарения под вакуумом с последующей конденсацией паров. Получаемые по данной технологии порошки имеют размер частиц менее 400 мкм.

Проведенные эксперименты показали, что размер частиц образующегося порошка полиэтилена существенно зависит от температурного режима в зоне измельчения. На рис. 2 приведены зависимости среднего размера частиц от температуры теплоносителя, поступающего в рубашку аппарата при различных концентрациях полимерного геля. Снижение температуры теплоносителя в рубашке охлаждения с 55 до 46 °С приводит к уменьшению среднего размера полимерных частиц в 1,5 раза. При температуре в зоне охлаждения 46 °С приблизительно 60% массы порошка приходится на частицы размером 64–160 мкм.

Понижение температуры в зоне измельчения позволяет получить более тонкодисперсный порошок. С другой стороны, чрезмерное снижение температуры может привести к полной остановке процесса. Для устойчивого протекания процесса получения полимерного порошка необходимо поддержание температуры в зоне охлаждения в определенном диапазоне значений.

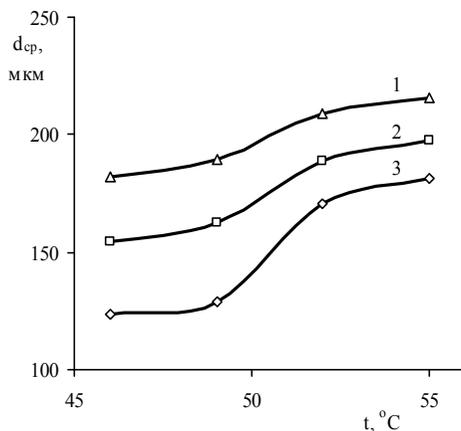


Рис. 2. Зависимость среднего размера полимерных частиц от температуры теплоносителя в зоне охлаждения при различной концентрации геля: 1 – 50%; 2 – 45%; 3 – 40%

С целью прогнозирования рациональных режимных и конструкционных параметров оборудования разработана математическая модель, включающая уравнения движения материала, переноса теплоты, материального и энергетического балансов. Решение системы уравнений математического описания позволяет рассчитать температурный режим, производительность диспергатора и потребляемую мощность.

Получаемые по этой технологии порошки полиэтилена могут быть использованы не только как наполнители в композиционных материалах, но и как сорбенты нефтепродуктов. Сорбционная емкость составляет от 4 до 7 мл/г в зависимости от вида нефтепродукта. По этому параметру полученный порошок полиэтилена не уступает таким порошкообразным сорбентам как Turbo-Jet (Франция), Peat-Sorb (Канада), Эколан (Россия), СибСорбент-1 (Россия).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вольфсон С.А.* Вторичная переработка полимеров // *Высокомолек. соед.* 2000. Т. 42, №11. С. 2000-2014.
2. *Евсеев О.В.* Переработка отходов полиэтилена в порошок в роторном диспергаторе / О.В. Евсеев, А.Г. Липин // *Известия вузов. Химия и химическая технология.* 2010. Т. 53, вып. 9. С. 128-129.
3. *Ахметханов Р.М.* О механизме тонкого диспергирования полимерных продуктов при упруго-деформационном воздействии / Р.М. Ахметханов, К.С. Минский, Г.Е. Заиков // *Пласт. массы.* 2006. №8. С. 6-9.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕМНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

А.М. Геннадьева, В.М. Артамонов, В.В. Березин

Научный руководитель – **С.З. Калаева**, д-р техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В данном исследовании анализируется применение магнитной жидкости на основе магнетита, полученного из железосодержащих отходов. Основной акцент делается на возможности использования данной феррожидкости для объемной очистки сточных вод, содержащих нефтепродукты. В результате проведенных исследований получены данные, подтверждающие эффективность применения указанного способа.

Ключевые слова: объемная очистка воды, эффективность очистки, магнитная жидкость, магнетит, железосодержащие отходы, нефтепродукты

STUDY OF THE EFFICIENCY OF VOLUMETRIC WATER PURIFICATION FROM OIL PRODUCTS

A.M. Gennadieva, V.M. Artamonov, V.V. Berezin

Scientific Supervisor – **S.Z. Kalaeva**, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This study analyzes the application of magnetic liquid based on magnetite obtained from iron-containing waste. The main emphasis is made on the possibility of using this ferrofluid for volumetric treatment of wastewater containing oil products. As a result of the conducted researches the data confirming the efficiency of application of the specified method are obtained.

Keywords: volumetric water treatment, treatment efficiency, magnetic fluid, magnetite, iron-containing waste, oil products

Загрязнение мирового океана нефтепродуктами (НП) является серьезной проблемой. Однако развитие технологий предлагает новые методы борьбы, включая использование магнетита и магнитной жидкости (МЖ). МЖ – это наночастицы магнетита, стабилизированные в жид-

кости-носителе, например, керосине. Использование МЖ для очистки воды от нефтепродуктов - перспективно, т.к. это приводит к ускорению процесса очистки, к минимизации использования химических реагентов, а также к снижению затрат за счет использования дешевых МЖ, синтезированных из промышленных отходов и неоднократного применения собранных омагниченных нефтепродуктов [1,2].

Один из наиболее эффективных способов получения магнетита - метод химической конденсации. Процесс начинается с приготовления раствора солей двух- и трехвалентного железа. В качестве исходных материалов выбраны соли железа (II) - отход травления стальных листов ОАО «Северсталь»), соли железа (III) - один из отходов: ваграночная пыль с ПАО "Автодизель" (г. Ярославль) или отход Оленегорского ГОК или пыль с электрофильтров ОАО «Северсталь» (г. Череповец). Для осаждения наночастиц магнетита добавляется раствор щелочи - гидроксид аммония. Под действием этой щелочи происходит образование осадка гидроксида железа. В результате проведения процесса конденсации и кристаллизации осадка гидроксида железа превращается в магнетит. Для сравнительной оценки нами был синтезирован магнетит из чистых веществ: хлорида железа (III) или сульфата железа (II).

Из полученных образцов магнетита нами были синтезированы магнитные жидкости на основе керосина. Керосин, служащий в качестве жидкости-носителя, обеспечивает равномерное распределение частиц магнетита в растворе, а олеиновая кислота, являющаяся стабилизатором, обеспечивает стабильность и долговечность магнитной жидкости, предотвращая ее разделение на фазы или осаждение частиц. Процесс получения МЖ длится 1,5 часа при интенсивном перемешивании и постоянной температуре в 95 °С. Это позволяет достичь оптимальной дисперсии и устранить возможные сгустки частиц магнетита. Последняя стадия – это удаление остаточной воды. Полученные магнитные жидкости с использованием различных промышленных отходов имеют намагниченность насыщения в пределах 9-15 кА/м при плотности 890-950 кг/м³.

Образец магнитной жидкости, полученный из пыли с электрофильтров ОАО «Северсталь», был охарактеризован с помощью физических методов анализа. Для подтверждения структуры и состава материала были получены спектры образцов на ИК-Фурье-спектрометре RX (Perkin Elmer) с приставкой НПВО Spectrum Two, в интервале частот 400–900 см⁻¹ (рис. 1).

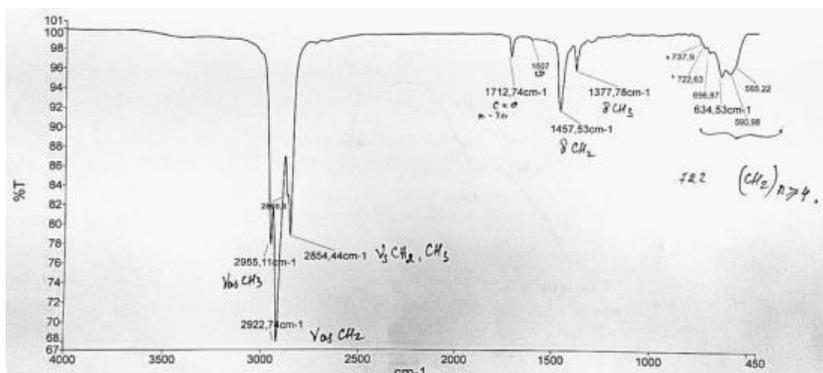


Рис. 1. ИК-спектр магнитной жидкости

Данные ИК-спектроскопии подтверждают присутствие минеральной формы магнетита в синтезированном образце МЖ. Полосы поглощения от 696,87 до 565,22 см⁻¹ соответствует колебанию связей Fe-O в кристаллической решетке магнетита (Fe₃O₄).

Полученные образцы магнитной жидкости (МЖ-1 – из ваграночной пыли ПАО «Автомобиль», МЖ-2 – из отхода Оленегорского ГОК, МЖ-3 – из пыли с электрофильтров ОАО «Северсталь», МЖ-4 – из чистых веществ) были испытаны в процессе объемной очистки сточной воды от нефтепродуктов.

Процесс объемной очистки воды с применением магнитной жидкости основан на притяжении нефтепродуктов магнитными частицами. Когда магнитная жидкость обрабатывает загрязненную воду, магнитные частицы нефтепродуктов образуют с ними агрегаты, которые можно легко отделить от воды с помощью магнитного поля. Для объемной очистки воды от НП с помощью МЖ нами было использовано устройство, описанное в патенте № 2602566 от 20.11.2016 [3]. Ранее в работе [4] был описан процесс объемной очистки воды от нефтепродуктов с помощью данного устройства.

В ходе эксперимента с каждой МЖ варьировали соотношение МЖ:НП. Результаты эксперимента представлены на рис. 2. Из диаграммы видно, что при объемной очистке сточной воды от нефтепродуктов наиболее приемлемое (рациональное) соотношение МЖ:НП=1:8, при этом степень очистки составляет 91-95 %.

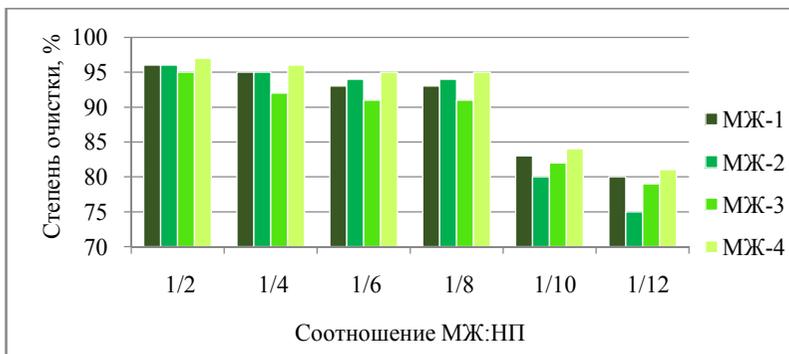


Рис. 2. Диаграмма зависимости эффективности очистки от соотношения МЖ:НП

Благодаря своей универсальности, данная технология может использоваться в различных сферах, где требуется очистка воды от нефтепродуктов. В целом, объемная очистка воды от нефтепродуктов с использованием магнитной жидкости представляет собой инновационный и эффективный метод, способный по-настоящему решить проблему загрязнения воды и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Картамышева Е. С. Загрязнение мирового океана нефтью и нефтепродуктами / Е.С. Картамышева, Д.С. Иванченко // Молодой ученый. 2018. № 25 (211). С. 20-23.
2. Каменщиков Ф.А. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта. М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. 528 с.
3. Пат. № 2602566 РФ, МПК C02F 1/48, C02F 1/40. Способ очистки воды от нефтепродуктов с помощью магнитной жидкости и устройство его реализации: № 2015112535/05; заявл. 06.04.2015 публ.: 20.11.2016 / Ю.И. Страдомский, Н.А. Морозов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (ИГЭУ).
4. Магнитная жидкость для объемной очистки воды от нефтепродуктов / А.М. Геннадьева, С.З. Калаева, Е.А. Королева, Е.Д. Бахвалова // Семьдесят шестая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 19 апреля 2023 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. 1 CD-ROM. С. 295-299.

ОЧИСТКА КАДМИЙСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИКИ

А.М. Геннадьева, Р.Э. Калаев, А.Н. Мусинова

Научный руководитель – **С.З. Калаева**, д-р техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Исследование направлено на разработку методов очистки сточных вод, которые позволят минимизировать концентрацию ионов кадмия в сточных водах. Анализируется степень удаления ионов кадмия из сточных вод с помощью магнетита из отходов. В ходе проведенных исследований были получены данные, подтверждающие успешность применения предложенных сорбционных материалов.

Ключевые слова: магнетит, ионы кадмия, сточные воды, эффективность очистки

TREATMENT OF CADMIUM-CONTAINING WASTE WATER FROM GALVANIZING PLANTS

A.M. Gennadyeva, R.E. Kalaev, A.N. Musinova

Scientific Supervisor – **S.Z. Kalaeva**, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The research is aimed at developing wastewater treatment methods that will minimize the concentration of cadmium ions in wastewater. The degree of removal of cadmium ions from wastewater using magnetite from wastes is analyzed. In the course of the conducted research the data confirming the success of application of the proposed sorption materials were obtained.

Keywords: magnetite, cadmium ions, wastewater, treatment efficiency

Сточные воды, содержащие кадмий образуются в основном в результате технологических операций в гальванотехнике, при изготовлении красителей. Высокое его содержание в водопроводной воде может также объясняться коррозионными процессами цинка, который входит в состав труб.

Одной из главных особенностей кадмия является его ядовитость. При попадании в организм этот элемент может оказывать серьезное воздействие на здоровье человека. Поэтому наличие кадмия в окружающей среде является серьезной экологической проблемой [1]. Очистка воды от ионов кадмия является одной из наиболее актуальных проблем современности. В последние годы были предложены различные методы очистки воды от ионов кадмия, однако, существующие технологии далеко не всегда обладают высокой эффективностью и экономической целесообразностью. В связи с этим, метод, основанный на использовании магнетита, представляет значительный интерес и потенциал в решении данной проблемы [2].

Магнетит (Fe_3O_4) - это природный минерал, обладающий уникальными магнитными свойствами. Он имеет способность притягивать к себе различные химические вещества и является эффективным сорбентом для удаления тяжелых металлов из воды [3].

В нашей работе магнетит был получен методом химической конденсации. Магнетит соосаждается при смешивании двух- и трехвалентного магнетита и введении раствора аммиака. В качестве исходных материалов выбраны соли железа(II) - отход травления стальных листов ОАО «Северсталь»), соли железа(III) - один из отходов: ваграночная пыль с ПАО "Автодизель" (г. Ярославль) или отход Оленегорского ГОК или пыль с электрофильтров ОАО «Северсталь» (г. Череповец). Также нами был синтезирован магнетит из чистых веществ: хлорида железа(III) или сульфата железа(II).

Для подтверждения структуры и состава материала были получены спектры образцов на ИК-Фурье-спектрометре RX (Perkin Elmer) с приставкой НПВО Spectrum Two, в интервале частот $400\text{--}900\text{ см}^{-1}$ (рис.1).

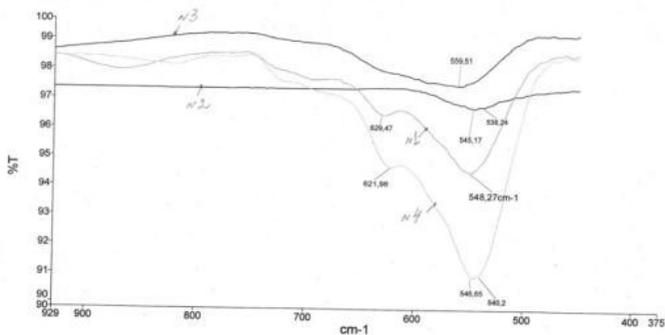
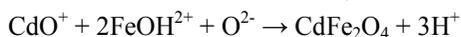
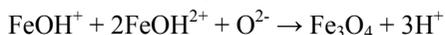
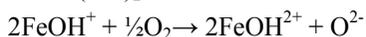
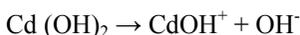


Рис. 1. ИК-спектр образцов магнетита:

- 1 - ваграночная пыль с ПАО "Автодизель" (г. Ярославль); 2 - отход Оленегорского ГОК; 3 - пыль с электрофильтров ОАО «Северсталь» (г. Череповец); 4 – чистые компоненты

Данные ИК-спектроскопии подтверждают присутствие минеральной формы магнетита в синтезированных образцах. Полосы поглощения 546,65; 548,27; 545,17 и 559,51 см^{-1} соответствует колебанию связей Fe-O в кристаллической решетке магнетита (Fe_3O_4).

Процесс очистки воды от ионов кадмия с использованием магнетита основан на явлении адсорбции. Магнетит, находясь в контакте с водой, притягивает к себе ионы кадмия благодаря своим магнитным свойствам. Затем, с помощью простого магнитного поля, магнетит, насыщенный ионами кадмия, легко отделяется от воды. Таким образом, очищенная от ионов кадмия вода может быть использована повторно без угрозы загрязнения окружающей среды. Химизм процесса очистки воды от ионов кадмия:



На первом этапе проводилось исследование степени очистки при разном соотношении магнетита (полученного из чистых компонентов) и содержащихся в растворе ионов кадмия. Согласно диаграмме (рис. 2) видно, что целесообразно использовать соотношение магнетита и ионов кадмия 1:10 (86%).

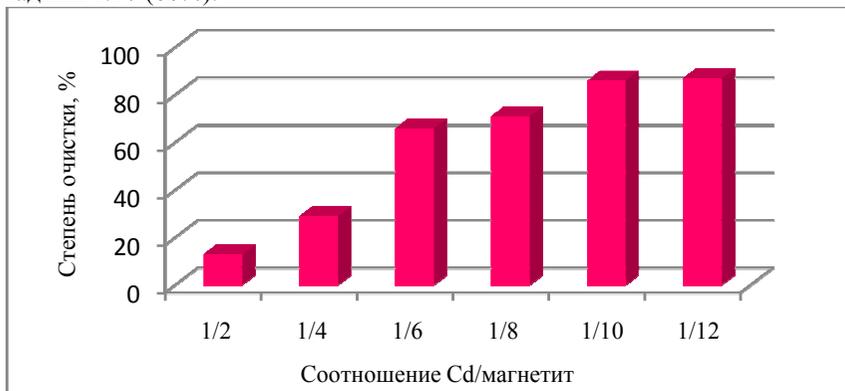


Рис. 2. Диаграмма зависимости эффективности очистки от соотношения магнетита и ионов кадмия

Далее исследование эффективности очистки сточных вод проводилось в зависимости от вида магнетита. Из диаграммы видно, что при использовании магнетита, полученного как из отхода Оленегорского

ГОК, так и из чистых компонентов, достигается высокая степень очистки – 91% (рис. 3).

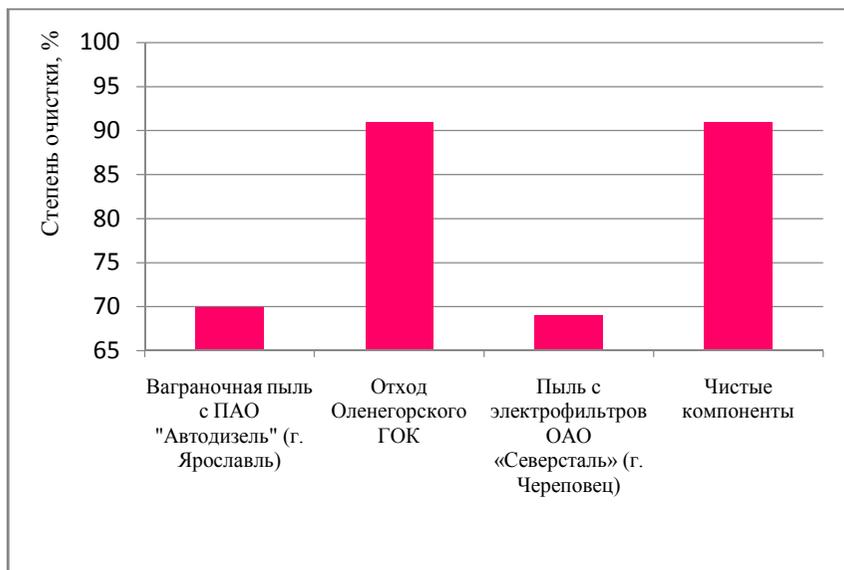


Рис. 3. Диаграмма зависимости эффективности очистки от вида магнетита

Таким образом, использование магнетита, полученного методом химической конденсации из промышленных отходов, для очистки воды от ионов кадмия является эффективным и перспективным подходом. Разработка данной технологии позволит снизить загрязнение окружающей среды и обеспечить доступность пресной воды с высокими стандартами качества. Предстоящие исследования и практическая реализация данного метода являются важными задачами для нашего общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фазлыева А.С. Влияние кадмия на здоровье населения и способы профилактики его токсических эффектов / А.С. Фазлыева, Р.А. Даукаев, Д.О. Каримов // Медицина труда и экология человека. 2022. № 1 (29). С. 220-235.
2. Gavris G. Study of the cleaning process with cadmium ions from residual waters / G. Gavris, G. Burtica, A. Iovi // Bul. sti. Univ. "Politehn." Timisoara. Ser. Chim. si ing. med. 2005. Vol. 50, no. 1–2. P. 163-165.
3. Белов К.П. Загадки магнетита // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6, № 4. С.71-76.

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

А.А. Гусева, У.К. Маркова, В.К. Леонтьев, М.А. Юровская

Научный руководитель – **М.А. Юровская**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Выполнен расчет коэффициента эффективности для аппаратов, осуществляющих центробежную сепарацию твердых частиц от сплошной фазы. Проведен сравнительный анализ коэффициентов эффективности циклонов ЦН-11, ЦН-15, ЦН-24.

***Ключевые слова:** центробежная сепарация, критерий Архимеда, фактор разделения, время осаждения частиц, коэффициент эффективности*

CALCULATION OF THE EFFECTIVENESS COEFFICIENT FOR CENTRIFUGAL DUST COLLECTORS

A.A. Guseva, U.K. Markova, M.A. Yurovskaya, V.K. Leontiev

Scientific Supervisor – **M.A. Yurovskaya**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

The calculation of the effectiveness coefficient for devices performing centrifugal separation of solid particles from the continuous phase has been carried out. A comparative analysis of effectiveness coefficient of cyclones CN-11, CN-15, CN-24 was carried out.

***Keywords:** centrifugal separation, Archimedes criterion, separation factor, particle sedimentation time, effectiveness coefficient*

Для очистки отходящих газов от твердых дисперсных включений в промышленности широко используют циклонные пылеуловители, в которых осаждение частиц дисперсной фазы происходит за счет центробежной силы, возникающей во вращающемся потоке. Циклоны применяются практически на всех предприятиях химической, фармацевтической, нефтяной, металлургической, деревообрабатывающей промышленности, а также в теплоэнергетике, машиностроении и транспорте [1].

При выборе пылеулавливающего оборудования для конкретного производства необходимо учитывать множество факторов: размер улавливаемых частиц, начальную запыленность газа носителя, температуру и давление рабочей среды. При этом выбранный аппарат должен не только обеспечивать высокую эффективность пылеулавливания, но и быть экономически выгодным в процессе эксплуатации. Провести сравнительный анализ различных циклонных пылеуловителей по множеству характеристик с учетом рабочих условий производства, достаточно трудно и не всегда объективно.

Учеными Ярославского государственного технического университета был получен коэффициент эффективности, который дает возможность сравнивать различные типы аппаратов, предназначенных для разделения неоднородных систем под действием центробежной силы. Данный коэффициент включает геометрические и режимные параметры, а также свойства сред, входящих в неоднородную систему. По величине коэффициента эффективности можно оценить эффективность центробежных пылеуловителей различного типа. Чем выше значение коэффициента, тем более эффективным будет аппарат в данных условиях эксплуатации [2].

Расчетная формула для определения коэффициента эффективности имеет следующий вид:

$$K_{\text{э}} = \frac{\eta \cdot \rho \cdot Q^3 \cdot \mu \cdot \tau_{\text{ос}}}{Ar \cdot K_{\text{ц}} \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot N_{\text{в}} \cdot d_{\text{ч}}^6},$$

где η - эффективность пылеулавливания; ρ - плотность сплошной фазы, кг/м³; Q - производительность аппарата по неоднородной среде, м³/с; μ - динамический коэффициент вязкости сплошной фазы, Па·с; $\tau_{\text{ос}}$ - время осаждения частиц, с; Ar - критерий Архимеда; $K_{\text{ц}}$ - фактор разделения; $\rho_{\text{ч}}$ - плотность частиц дисперсной фазы, кг/м³; $N_{\text{в}}$ - вводимая мощность, Вт; $d_{\text{ч}}$ - диаметр частиц, м.

При этом время осаждения частиц будет определяться режимом осаждения [3].

В данной работе был рассчитан коэффициент эффективности для циклонов ЦН-11, ЦН-15, ЦН-24. Расчет проводился для систем очистки воздуха от частиц абразива плотностью 2100 кг/м³ и медианным размером частиц 170 мкм. Данные, полученные в ходе расчета, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Данные, полученные в результате расчета коэффициента эффективности

Параметр	Марка циклона		
	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-24
Диаметр цилиндрической части циклона, м	0,6	0,6	0,6
Диаметр выходного патрубка циклона, м	0,36	0,36	0,36
Скорость газа во входном патрубке, м/с	16	16	16
Производительность циклона, м ³ /с	0,72	0,99	1,66
Вводимая мощность, Вт	1310,8	2174,3	5244,5
Эффективность пылеулавливания	0,9	0,9	0,9
Площадь входного патрубка, м ²	0,045	0,062	0,104
Критерий Архимеда	376,5	376,5	376,5
Фактор разделения	209,5	202,9	181,5
Режим осаждения частиц	переходный	переходный	переходный
Время осаждения, с	0,0017	0,0018	0,0019
Коэффициент эффективности	2422,5	4012,4	9580,9

Анализ полученных данных показывает, что наиболее эффективным в предлагаемых условиях будет являться циклон ЦН-24. Это связано с высокой производительностью аппарата и меньшим количеством удельной энергии, затрачиваемой на процесс очистки воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чекалов Л.В. Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов. Ярославль: Русь, 2004. 424 с.
2. Леонтьев В.К. Коэффициент эффективности пылеуловителя-классификатора / В.К. Леонтьев, М.А. Юровская, А.Е. Лебедев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2022. № 10. С. 42-44.
3. Леонтьев В.К. К вопросу о производстве осадительных центрифуг / В.К. Леонтьев, М.А. Юровская, А.Е. Лебедев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2022. № 4. С. 13-14.

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛА

Н.В. Жарова, О.В. Ладыгина, А.С. Данилова

Научный руководитель – **О.В. Ладыгина**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются методы очистки сточных вод от фенола. Представлены результаты количественного химического и спектрального анализа после экстракции пробы сточной воды гексаном. Предложены технологические решения для уменьшения концентраций загрязняющих веществ в сточных водах.

Ключевые слова: *очистка сточной воды, фенол, спектральный анализ, регенеративные методы, комбинированные методы*

WASTEWATER TREATMENT FROM PHENOL

N.V. Zharova, O.V. Ladygina, A.S. Danilova

Scientific Supervisor – **O.V. Ladygina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Methods of wastewater treatment from phenol are considered. The results of quantitative chemical and spectral analysis after extraction of wastewater sample with hexane are presented. Technological solutions for reducing pollutant concentrations in wastewater are proposed.

Keywords: *wastewater treatment, phenol, spectral analysis, regenerative methods, combined methods*

Повышающиеся перспективы развития отраслей химической промышленности несут потенциальные риски, наносящие вред окружающей среде и представляющие угрозу для здоровья населения.

Сточные воды предприятий химической промышленности имеют сложный химический состав, включающий органические и неорганические соединения, обладающие токсичным действием.

Высокие концентрации ксенобиотиков, таких как фенол, приводят к угнетению водной экосистемы, ухудшат самоочищение водоема, способствуют сокращению численности живых организмов. Фенол пред-

ставляет собой органическое вещество, обладающее высокой токсичностью.

Проявление отрицательного действия фенола на организм человека заключается в разрушении клеточных мембран, ферментов и белков, что приводит к повреждению тканей и нарушению работы органов. Отравление фенолом сопровождается угнетением центральной нервной системы, ожогами слизистых оболочек, раздражением дыхательных путей, головокружением и, в тяжелых случаях приводит к смерти [1].

Для поддержания качества водных ресурсов и снижения антропогенной нагрузки на окружающую природную среду необходима реализация природоохранных мер.

Выбор способов и методов очистки сточных вод зависит от состава загрязняющих веществ.

Для определения состава сточных вод применялся спектральный анализ. Пробу сточной воды экстрагировали гептаном. При этом, загрязняющие органические вещества переходили в органический растворитель (гексан), происходило их выделение из сточной воды, поскольку органические вещества лучше растворяются в гептане, чем в воде. Выделившиеся загрязняющие вещества через делительную воронку помещали в стеклянный стан для испарения гептана.

Спектральный анализ представляет собой метод определения химического состава вещества на основе его линейчатого спектра. Этот метод основан на анализе электромагнитного излучения, испускаемого атомами и молекулами при их возбуждении. По результатам спектрального анализа составлен линейчатый ИК спектр, представленный на рис. 1.

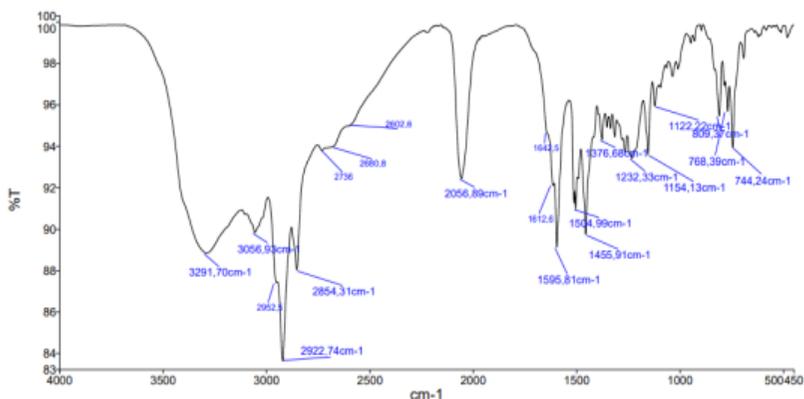


Рис. 1. Линейчатый спектр состава сточной воды

Исходя из анализа пиков линейчатого спектра загрязняющие вещества относятся следующим функциональным группам: алканы, алкены, фенолы, ароматические соединения, нитросоединения, изотиоцианаты [2].

Состав сточной воды представлен органическими соединениями, на это указывает также высокое значение показателя химического потребления кислорода (ХПК). ХПК в сточных водах – показатель, характеризующий количество кислорода, необходимого для окисления органических и неорганических загрязняющих веществ [3]. Высокие значения ХПК негативно сказываются на экосистеме водоема и могут влиять на органолептические показатели качества воды.

Аккредитованной лабораторией выполнен количественный химический анализ состава сточной воды (табл. 1).

Таблица 1. Результаты количественного химического анализа

Загрязняющее вещество	Нормативные документы	Концентрация, мг/дм ³	
		Проба от 11.10.23	Проба от 01.11.2023
ХПК	ФР.1.31.2002.00639	18400	24000
Фенолы летучие	ПНДФ14.1:2:3.1-95	4,2	2,24
Ионы аммония	ПНДФ14.1:2:4.182-02	324	782,7
Взвешенные вещества	ПНДФ14.1:2:4.254-09	23,0	157,7
рН	ПНДФ14.1:2:3:4.121-97	8,1	8,57

Сточные воды характеризуются высоким уровнем ХПК, превышающим стандартные значения, что указывает на органические соединения как на основные загрязнители. Кроме того, фенолы, ионы аммония и взвешенные вещества присутствуют в концентрациях, превышающих допустимые нормы на сброс в Централизованную систему водоотведения поселков и городских округов (ЦВС ПГО).

Для очистки сточных вод использовались следующие методы: обработка смесью отработанных катализаторов; обработка активированным углем; ионный обмен, ультрафильтрация.

Метод обработки смесью отработанного катализатора обеспечивает взаимодействие между активными сульфогруппами с гидроксильной группой фенола. Реакция обусловлена образованием сложного эфира, используемого в качестве поверхностно-активного вещества.

Ионный обмен анионитом в ОН-форме предполагает ионное взаимодействие между анионитом и фенолом с образованием фенолят-иона.

Данное взаимодействие может привести к образованию малорастворимого соединения. Ионобменную смолу регенерируют 2% раствором щелочи с образованием фенолята натрия. Фенолят натрия широко применяется в фармакологической промышленности.

Ультрафильтрация способствует глубокой очистке сточной воды на молекулярном уровне. Вода проходит через поры мембраны под давлением, при этом более крупные молекулы загрязняющих веществ задерживаются порами, молекулы меньше диаметра пор свободно проходят.

Адсорбция активированным углем: используется для удаления фенолов из сточных вод посредством физического взаимодействия с поверхностью активированного угля.

Приведены результаты очистки сточной воды по предложенным методам в табл. 2.

Таблица 2. Результаты очистки сточной воды

Показатель	Единицы измерения	Методы очистки				Норматив допустимого сброса в ЦСВ ПГО
		Обработка катализатором	Адсорбция активированным углем	Ионный обмен	Ультрафильтрация	
ХПК	мг/дм ³	14400	12000	4800	17600	128,4
Ионы аммония	мг/дм ³	7,8	333,3	239,7	404,2	50
Фенолы летучие	мг/дм ³	4,2	4,2	0,0135	2,24	0,008

Данные методы не позволяют очистить сточную воду от фенолов, до нормативов допустимого сброса в ЦСВ ПГО. Высокой селективностью по ионам аммония обладает метод обработки отработанным катализатором, степень очистки составила 97,59%. Метод ионного обмена позволил существенно снизить концентрацию ХПК, однако достичь нормативного значения по данному показателю не удалось. Метод ультрафильтрации и адсорбция активированным углем также не позволили очистить сточную воду до нормативных значений.

На основании результатов исследования предложены следующие способы очистки сточной воды.

Удаление мелкодисперсных механических примесей с помощью фильтра, мелкодисперсные примеси затрудняют более глубокую очистку сточной воды и снижают эффективность очистки.

Окисление является деструктивным методом очистки сточной воды от фенола, способствует полному разрушению структуры загрязняю-

щего вещества до образования воды и диоксида углерода. В настоящее время окисление является наиболее перспективным и безопасным методом очистки. Окисление может быть осуществлено озоном, кислородом, перекисью водорода, может происходить фотоокисление [4].

По результатам экспериментальных данных в качестве метода доочистки и умягчения воды, а также снижения концентрации ХПК необходимо провести ионный обмен.

Очистка сточных вод сложного химического состава требует детального изучения и выбора наиболее прогрессивных, экологических, направленных на ресурсосбережение комплексных методов очистки, позволяющих достичь допустимых нормативных значений для сброса в ЦСВ ПГО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванова М.И.* Токсичное действие фенола на организм человека на производстве / М.И. Иванова, В.А. Юровских // Электронный научный журнал «Вестник науки». 2023. Т. 2, №7 (64). С. 221-224. URL: <https://www.вестник-науки.рф/article/9484> (дата обращения 12.03.2024)
2. Практикум по колебательной спектроскопии: Учебное пособие / Т.Н. Носенко, В.Е. Ситникова, И.Е. Стрельникова, М.И. Фокина. СПб: Университет ИТМО, 2021. 173 с.
3. *Махнин А.А.* Химия окружающей среды: учеб. пособие. Ч. 2 Химия гидросферы и литосферы / А.А. Махнин, В.М. Макаров, Н.И. Володин. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2011. 104 с.
4. Влияние давления кислорода на фотохимическое окисление фенола / Ф.Г. Гасанова, Ф.Ф. Оруджев, З.М. Алиев, А.Б. Исаев // Электронный научный журнал «Журнал Физической химии» 2012. Т. 86, № 3. С. 569–571. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_17647608_86317574.pdf (дата обращения 17.03.2024)

**ВЛИЯНИЕ ИОНОВ МЕДИ НА КОРРОЗИОННЫЕ
СВОЙСТВА ОЛИГОМЕРОВ
ПОЛИГЛИЦЕРИНТЕРЕФТАЛАТА**

С.В. Жеглов, А.В. Павлов, В.В. Макарьин

Научный руководитель – **В.В. Макарьин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Исследовалось влияние на коррозию стальных образцов покрытия из олигомеров полиглицеринтерефталата с добавлением сульфата меди в 5%-ном растворе хлорида натрия. Показано, что покрытие образцов исследуемым олигомером немного увеличивает скорость коррозии, что должно способствовать более легкой свинчиваемости заржавевших резьбовых соединений.

Ключевые слова: олигомеры, полиглицеринтерефталат, сульфат меди, сталь, образец, коррозия, резьбовые соединения, отвинчивание

**INFLUENCE OF COPPER IONS ON THE CORROSION
PROPERTIES OF POLYGLYCER TEREPHTHALATE
OLIGOMERS**

S.V. Zheglov, A.V. Pavlov, V.V. Makaryin

Scientific Supervisor – **V.V. Makaryin**, Candidate of Technicals
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Influence on corrosion of steel samples of a covering from polyglycerinterephthalateoligomer in 5 % a solution of chloride of sodium with addition of sulfate medu was investigated. It is shown, that the covering of samples researched oligomers increases speed of corrosion that should promote easier unscrewing the rusted carving connections

Keywords: oligomers, polyglycerophthalate, copper sulfate, steel, sample, corrosion, threaded connections, unscrewing

Полиэтилентерефталат является многотоннажным продуктом, из которого изготавливаются бутылочная тара, синтетические нити и волокна. Ввиду большого объема производства, утилизация пластиковых отхо-

дов, из вышедших из употребления изделий, представляется актуальной задачей.

Известны следующие методы утилизации и рециклинга ПЭТФ: захоронение, грануляция, агломерация, сжигание, пиролиз, химическая переработка (гидролиз, гликолиз, поликонденсация и т.д.) [1, 2].

С нашей точки зрения одним из перспективных методов переработки вторичного ПЭТФ является переэтерификация последнего многоатомными спиртами (в частности глицерином) с получением полимеров различной вязкости и молекулярной массы в зависимости от условий проведения реакции [3]. Представляет интерес изучение потребительских свойств полученных продуктов, например, для свинчивания прикипевших винтовых и гаечных соединений. Для ускорения процесса размягчения затвердевшей окалины и ржавчины было предложено в смесь низкомолекулярных олигомеров, полученных переэтерификацией полиэтилентерефталата глицерином, добавлять медный купорос CuSO_4 , который вступает в реакцию комплексообразования с глицерином [4]. Результаты испытаний образцов по методике определения скорости коррозии [5] представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 Исследование скорости коррозии стали в 5%-ном растворе хлорида натрия

Наименование показателей						
Опыт	Масса образца, г		Разность масс,	Поверхность образца,	Время испытания,	Скорость коррозии,
	до испытания	после испытания	г	см^2	сутки	$\text{г}/(\text{см}^2 \cdot \text{сутки})$
1	1.9157	1.9037	0.0120	17.3	7	$9,91 \cdot 10^{-6}$
2	1.9287	1.8545	0.0742	17.4	14	$30,46 \cdot 10^{-5}$
3	1.8926	1.8375	0.0551	17.1	21	$15,34 \cdot 10^{-5}$
4	1.8666	1.8011	0.0655	16.8	28	$13,92 \cdot 10^{-5}$
5	1.8836	1.7982	0.0854	17.0	35	$14,35 \cdot 10^{-5}$

Таблица 2. Исследование скорости коррозии стали в 5%-ном растворе хлорида натрия с покрытием из олигомеров, с добавлением медного купороса

Наименование показателей						
Опыт	Масса образца, г		Разность масс,	Поверхность образца,	Время испытания,	Скорость коррозии,
	до испытания	после испытания	г	см ²	сутки	г/(см ² ·сутки)
1	1.9313	1.9132	0.0181	17.4	7	14,86·10 ⁻⁵
2	1.9420	1.9080	0.0340	17.5	14	13,87·10 ⁻⁵
3	1.8861	1.8358	0.0503	17.0	21	14.09·10 ⁻⁵
4	1.9819	1.8938	0.0881	17.9	28	17,58·10 ⁻⁵
5	1.9685	1.8681	0.1004	17.7	35	16,21·10 ⁻⁵

Ионы меди, присутствующие в изучаемой электропроводной системе, имеют электрохимический потенциал более электроположительный по сравнению с ионами железа, и способствуют анодному растворению стальных образцов в данной системе. Образующийся в результате анодного процесса гидроксид железа легко поглощается смесью низкомолекулярных олигомеров и способствует последующему размягчению затвердевшей окалины и ржавчины, адсорбируясь на их поверхности. Восполнению свежееобразовавшегося гидроксида железа способствует избыток ионов меди и продуктов переэтерификации полиэтилентерефталата глицерином.

Таким образом, предварительная обработка поверхности стальных образцов олигомерами, полученными из полиглицеринтерефталата, с добавлением сульфата меди (II) немного увеличивает скорость коррозии при их погружении в 5%-ный раствор хлорида натрия, что должно способствовать более легкой свинчиваемости заржавевших резьбовых соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пилунов Г.А. Переработка отходов полиэтилентерефталата / Г.А. Пилунов, З.А. Михитарова, Г.М. Цейтлин // Химическая промышленность. 2001, № 6. С. 22-26.

2. Переработка вторичного ПЭТФФ / Д.Б. Захаров, Т.Н. Вахтинская, С.В. Аренина, Т.Н. Прудскова, Т.И. Андреева // Пластические массы. 2003. № 11. С. 40-42.
3. *Пархачева К.С.* Переэтерификация полиэтилентерефталата глицерином / К.С. Пархачева, В.В. Макарьин, В.Б. Доброхотов // Тезисы докладов 68-й всероссийской научно-технической конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 22 апреля 2015 г. Ярославль Ч.1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2015. С. 365-368.
4. *Жеглов С.В.* Олигомеры полиэтилентерефталата как средства, тормозящие коррозию / С.В. Жеглов, А.В. Павлов, В.В. Макарьин // Семьдесят шестая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 19-20 апреля 2023 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. 1 CD-ROM. С. 382-385.
5. ГОСТ 3560-73. Лента стальная упаковочная. Технические условия.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ГЕКСАФТОРБУТАДИЕНА

И.А. Кононов, Е.В. Федотова, С.Д. Тимрот

Научный руководитель – **С.Д. Тимрот**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Объектом исследования являются отходы, полученные при производстве гексафторбутадиена. Методами высокоэффективной жидкостной хроматографии, рентгенофлуоресцентной спектроскопии были исследованы свойства отходов производства гексафторбутадиена.

Ключевые слова: отходы, растворители, диметилформамид, изопропиловый спирт

STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES HEXAFLUOROBUTADIENE PRODUCTION WASTE.

I.A. Kononov, E.V. Fedotova, S.D. Timrot

Scientific Supervisor – **S.D. Timrot**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The object of the study is waste obtained from the production of hexafluorobutadiene. The properties of hexafluorobutadiene production waste were studied using high-performance liquid chromatography and X-ray fluorescence spectrometry.

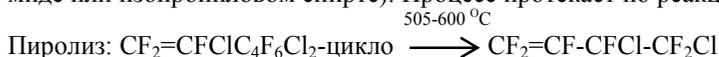
Keywords: waste, solvents, dimethylformamide, isopropyl alcohol

К концу XX в начале XXI века резко возросла антропогенная нагрузка на биосферу Земли. Масштабы человеческой деятельности стали сравнимы с естественными процессами, происходящими в биосфере. Для снижения антропогенной нагрузки была разработана концепция так называемой “зеленой химии”. Эта концепция была впервые сформулирована в книге Пола Анастаса и Джорджа Уорнера [1].

Целью настоящей работы являлось понижение антропогенной нагрузки процесса получения гексафторбутадиена путем комплексной пе-

переработки отходов этого процесса. На первом этапе был изучен состав отходов вышеназванного процесса.

Получение гексафторбутадиена осуществляют пиролизом хлортрифторэтилена с последующим дехлорированием 1,2-дихлоргексафторбутена-3 в присутствии цинка в полярном растворителе (диметилформамиде или изопропиловом спирте). Процесс протекает по реакциям:



Состав отходов, после отгонки целевого продукта, приведен в табл. 1.

Таблица 1. Состав отходов при использовании диметилформамида в качестве растворителя

Компонент отхода	Диметилформамид	Хлорид цинка	Цинк	1,2-Дихлоргексафторбутен (C ₄ F ₆ Cl ₂)	Гексафторбутадиен (C ₄ F ₆)
Массовая доля компонента, %	60,3	30,8	3,3	4,1	1,5

Деметилформамид (ДМФА) имеет высокую температуру кипения и может достаточно легко выделен из смеси отходов. Как показано в работе [2] однократная отгонка позволяет получить достаточно чистый растворитель. Для получения более чистого продукта была выделена фракция 145-155°C и снят ИК-спектр для оценки качества более узкой фракции ДМФА, определены плотность рефракция. Данные приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики чистых веществ и отобранных фракций

Вещество	Показатель преломления n_D	Плотность ρ , г/см ³
Чистый ДМФА	1,4300	0,9445
Фракция 145-155 °С ДМФА	1,4270	0,9658

Анализ ДМФА с помощью ВЭЖХ (рис. 1) показал наличие в нем неидефицированных тяжелокипящих примесей, которые представляют собой комплексы хлорида цинка с ДМФА [3]. Анализ проводился на жидкостном хроматографе LCD 2563 производства "Laboratory pristroje" Praha с УФ-детектором. Длина волны детектора составляла 254 нм. Подвижная фаза: ацетонитрил – вода 70:30. Неподвижная фаза: Диасфер-110-С18 диаметром 5 мкм. Колонка размером 4x150 мм.

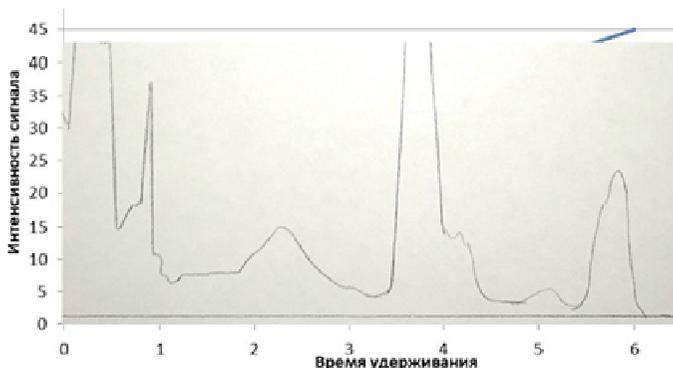


Рис. 1. Обращенно-фазная ВЭЖ хроматограмма ДМФА

Таким образом, после отгонки диметилформаида необходима его ректификация для получения чистого продукта.

На втором этапе были исследованы отходы процесса дехлорирования, когда в качестве полярного растворителя использовался изопропиловый спирт. Состав отходов приведен в табл. 3.

Таблица 3. Состав отходов при использовании изопропилового спирта в качестве растворителя

Компонент отхода	Изопропиловый спирт	Хлорид цинка	Вода	Гексафтортетрахлорбутан
Массовая доля компонента, %	33,7	51,4	9,9	5,0

Была проведена отгонка изопропилового спирта (ИПС) от хлорида цинка. Для оценки качества был снят ИК-спектр полученного продукта.

Из спектра (рис. 2) видно, что характеристические волновые числа широкой фракции отогнанного ИПС лишь частично совпадают с волновыми числами чистого ИПС. Полосы $1781,6$ и $1648,49 \text{ см}^{-1}$, по-видимому, вызваны присутствием примесных групп $\text{C}=\text{C}$, вызванных полимеризацией фторорганических соединений. Об этом свидетельствует и увеличение плотности растворителя. Сложность разделения заключается в том, что в растворителе остаются комплексы хлорида цинка, которые катализируют химические реакции в процессе хранения и разделения отходов.

Для более тщательного анализа и выделения чистого ИПС отогнанная фракция была разделена на несколько более узких ($62-73 \text{ }^\circ\text{C}$, $74-77 \text{ }^\circ\text{C}$, $78-90 \text{ }^\circ\text{C}$), и исследована по фракционному составу. В каждой из фракций образовывался белый маслянистый осадок. Был исследован спектр образованного осадка во фракции $62-73 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 3).

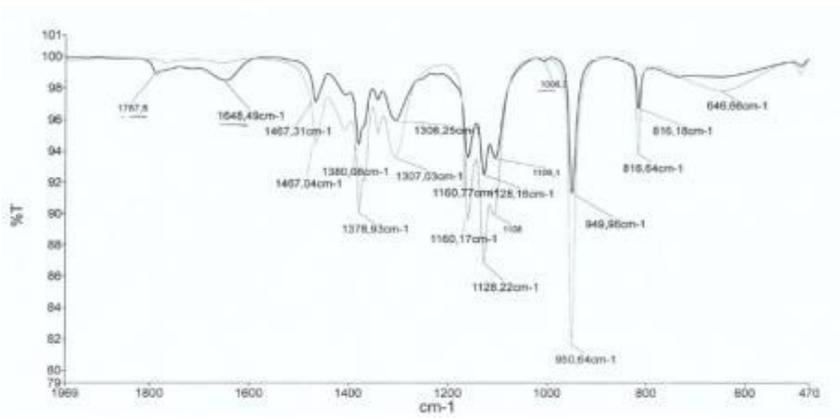


Рис. 2. Спектры чистого и отогнанного ИПС:
 — отогнанный ИПС; — чистый ИПС

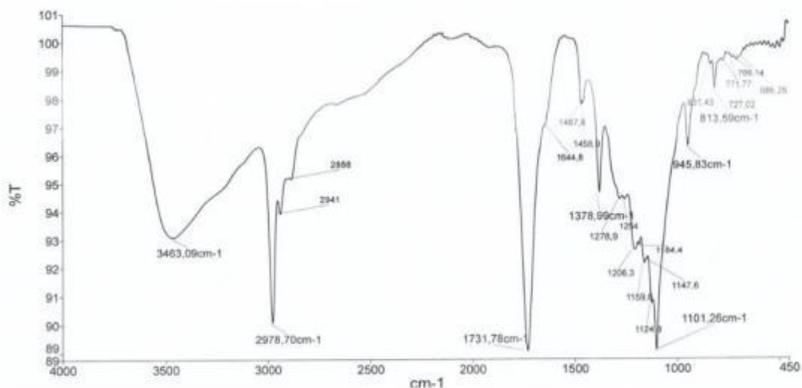


Рис. 3. Спектр фракции 62-73 °С ИПС

Из спектра видно, что полоса $3463,09\text{ см}^{-1}$ вызвана присутствием воды, полосы $2978,70$, 2941 , 2888 см^{-1} вызваны колебаниями С-Н групп, оставшихся от изопропилового спирта, полоса $1731,78\text{ см}^{-1}$ присутствием С=С групп, а диапазон полос от $1467,8$ до $1101,26\text{ см}^{-1}$ обусловлен наличием фторорганических соединений.

Наличие осадка может объясняться тем, что в исходном растворителе есть фторорганические соединения, способные к полимеризации. При перегонке, при температуре от 62 °C , летучие органические комплексы цинка также отгонялись с фракциями ИПС, катализируя полимеризацию фторорганических соединений, находящихся в растворителе.

На наличие примесей и олигомеров указывает и увеличение плотности отобранных фракций, по сравнению с чистым ИПС.

Таким образом использование в процессе дехлорирования изопропилового спирта приводит к значительно более трудноразделимой смеси, чем при использовании ДМФА. Наличие большого количества примесей в отгоне было подтверждено ВЭЖХ на хроматографе марки Shimadzu с УФ-детектором. Было определено около двадцати различных соединений.

С точки зрения «зеленой химии» использования ИПС не целесообразно, так как образуется большое количество отходов и сложно регенерировать растворитель. Для получения качественных возобновляемых растворителей необходимо использовать процессы ректификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Anastas P.T.* Green Chemistry: Theory and Practice / P.T. Anastas, J.C. Warner // New York: Oxford -University Press, 1998. 30 p.
2. *Кононов И.А.* Комплексная утилизация отходов органических растворителей / И.А. Кононов, А.В. Петровых, С.Д. Тимрот // Защита окружающей среды от экотоксикантов: международный опыт и российская практика: материалы V Международной научно-технической интернет-конференции, посвященной 75-летию УГНТУ (14 апреля 2023 г.). Уфа: УНПЦ «Изд-во УГНТУ», 2023. С.111-113.
3. ИК-спектроскопическое и термографическое исследование комплексов хлоридов кальция, магния с N,N-диметилформамидом и N,N-диметилацетамидом / Т.Б. Байдинов, С.А. Сапалова, Б.С. Намазова, Б.И. Иманакунов // East European Scientific Journal. 2018. 6(34). P. 56-61.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В ВОДОПОДГОТОВКЕ

А.Д. Копинкова, И.Г. Тихонова

Научный руководитель – **Е.Л. Никитина**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рост потребления коагулянтов обусловлен повышением интенсивности и качеством очистки воды от различных технологических процессов. В то же время рациональные технологии водопользования требуют изыскания дешевых и эффективных систем для очистки воды с использованием вторичных ресурсов.

Ключевые слова: водоподготовка, отход обезжелезивания, коагуляция, флокуляция, эффективность очистки

THE USE OF SECONDARY PRODUCTION WASTE IN WATER TREATMENT

A.D. Kopinkova, I.G. Tikhonova

Scientific Supervisor – **E.L. Nikitina**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The increase in consumption of coagulants is due to an increase in the intensity and quality of water purification from various technological processes. At the same time, rational water use technologies require the search for cheap and efficient systems for water purification using secondary resources.

Keywords: water treatment, degreasing waste, coagulation, flocculation, purification efficiency

В России значительная доля ресурсов подземных вод представлена железосодержащими водами, что чрезвычайно осложняет их использование для хозяйственно-питьевых нужд. В ходе обезжелезивания (деферритизации) подземных вод образуется осадок, обладающий специфическими свойствами и являющийся источником загрязнения окружающей среды. Сущность процессов обезжелезивания воды заключается в окислении железа с последующим осветлением воды (рис. 1).

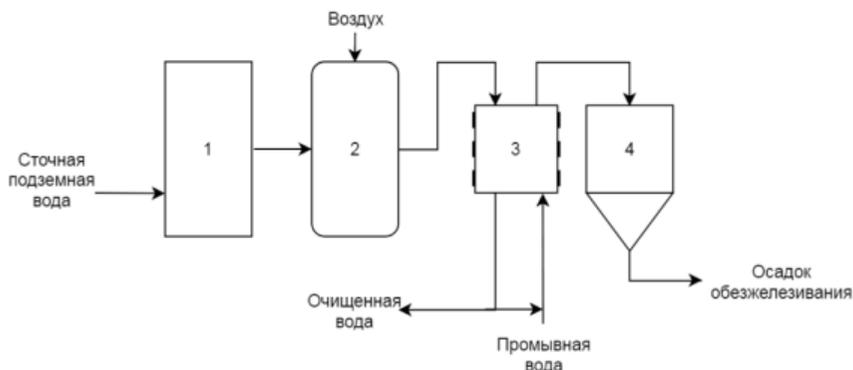


Рис. 1. Технологическая схема обезжелезивания воды:

- 1 – водозаборное сооружение; 2 – камера аэрации; 3 – насыпной фильтр;
4 – отстойник

Одной из важнейших операций в современной технологии водоподготовки является коагуляционная очистка. Коагуляция – это метод очистки воды путем укрупнения загрязняющих дисперсных веществ для последующего удаления механическим способом, фильтрацией. В последние годы растет потребление коагулянтов для нейтрализации и обезвреживания сточных вод в химической, авиационной, автомобильной, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности [1, 2]. Основным технологическим приемом удаления из воды коллоидных органических загрязнений и грубодисперсных примесей является процесс коагуляции, за счет введения в воду коагулянтов и флокулянтов. Современные коагулянты позволяют значительно повысить интенсивность и качество процесса очистки сточных вод [3]. Среди неоспоримых преимуществ использования коагулянтов стоит выделить: эффективность; доступную стоимость; высокое качество очистки; универсальность применения. Для того, чтобы обеспечить народное хозяйство коагулянтами, расширить ассортимент, повысить качество и улучшить их товарный вид, в ближайшие годы необходимо создать ряд новых производственных мощностей, провести техническое перевооружение существующих, а также развивать исследования по возможности получения новых, более эффективные коагулянты по сравнению с традиционными [4, 5]. Большинство существующих промышленных технологий получения коагулянтов являются энергоемкими и ориентированы на традиционную сырьевую базу. В промышленности имеются огромные запасы трудноутилизуемых вторичных отходов, которые не безопасны для здоровья и окружающей среды. Целью данной работы является оценка работоспособности коагулянтов, полученных из вторичных отходов производства.

Установлено, что коагулянты, полученные из осадков водного обезжелезивания, а также отходов алюминия обладают высокими показателями эффективности очистки, времени отстаивания по сравнению с традиционно используемыми коагулянтами на основе солей железа и алюминия. Соли железа обладают лучшими коагулирующими свойствами в интервале рН 3,5-11. Коагулянты на основе железа предпочтительно используются для очистки мутных, жестких вод, а также для очистки сточных вод. Они позволяют устранить запахи и привкусы, вызванные присутствием сероводорода, удаляют соединения мышьяка, марганца, меди, а также способствуют окислению органических соединений. Для очистки природных вод предпочтительными являются коагулянты на основе алюминия. Установлено, что полученные коагулянты на основе солей железа и алюминия, обеспечивают высокое качество очистки, поэтому целесообразным является их получение и использование на водочистных станциях, предприятиях по очистке сточных вод. Таким образом, разработан рациональный и экономически эффективный способ утилизации вторичных отходов производства для очистки воды различного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Драгинский В.Л.* Коагуляция в технологии очистки природных вод / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева, С.В. Гетманцев. М., 2005. 571 с.
2. *Бабенков Е.Д.* Очистка воды коагулянтами. М.: Наука, 1977. 356 с.
3. *Дзюбо В.В.* Очистка промывных вод на станциях обезжелезивания подземных вод / В.В. Дзюбо, Е.Н. Курочкин // Вода и экология: проблемы и решения. 2005. № 1. С. 3-8.
4. *Животнев В.С.* Обезжелезивание природных вод / В.С. Животнев, Б.Д. Сукасян. М.: ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре, 1975. 43 с.
5. *Мясников И.Н.* Исследование процессов коагуляции и обеззараживания при очистке воды поверхностных источников / И.Н. Мясников, В.А. Потанина, З.И. Жолдакова // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. №9. С. 13-15.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ СИСТЕМ НАДЗЕМНОЙ ПРОКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДОВ

С.А. Кораблева, Л.М. Соболева, О.Н. Кораблева

Научный руководитель – **О.Н. Кораблева**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрена проблема энергосбережения, связанная с тепловой изоляцией трубопроводов тепловых сетей и инженерных коммуникаций. Определен оптимальный вариант теплоизоляции для предложенной гидравлической схемы среди рассмотренных.

Ключевые слова: энергосбережение, тепловая изоляция, трубопроводы тепловых сетей, коэффициент теплопроводности, термическое сопротивление, оптимальная толщина

CALCULATION OF THERMAL INSULATION PARAMETERS FOR THERMAL SYSTEMS OF OVERHEAD PIPING

S.A. Korableva, L.M. Soboleva, O.N. Korableva

Scientific Supervisor – **O.N. Korableva**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The problem of energy saving related to thermal insulation of pipelines of heating networks and engineering communications is considered. The optimal thermal insulation option for the proposed hydraulic circuit has been determined among those considered.

Keywords: energy saving, thermal insulation, pipelines of thermal networks, coefficient of thermal conductivity, thermal resistance, optimal thickness

В настоящее время все больше внимания уделяется вопросам энерго- и ресурсосбережения, а именно снижению затрат на отопление. Удельный показатель расхода энергии на человека может использоваться для определения уровня технического прогресса и экономического развития страны [1]. Программа энерго- и ресурсосбережения предусматри-

вает повышение эффективности использования энергоресурсов. Энергосбережение является фактором экономического развития, который показывает, что зачастую дешевле осуществлять меры по экономии энергии, чем увеличивать ее производство. Снижение потребления энергии однозначно приведет к уменьшению выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. Одним из основных и экономически эффективных мер по энергосбережению является установка качественной технической теплоизоляции, которая способна обеспечить не только снижение энергопотерь, но и увеличить срок службы всей системы [2, 3].

Топливо-энергетические ресурсы имеют естественную ограниченность мировых запасов, в связи с чем возникает необходимость повышения энергоэффективности в нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, пищевой, фармацевтической, микробиологической и других областях промышленности. Одним из способов решения проблемы энергосбережения является внедрения энергосберегающих технологий и современных высокоэффективных теплоизоляционных материалов. Так тепловая изоляция трубопроводов и оборудования определяет техническую возможность и экономическую эффективность технологических процессов.

При подборе теплоизоляционного материала учитывают коэффициент теплопроводности, требования по нормам проектирования в вопросах пожаробезопасности используемого материала, срок службы. В большинстве случаев коэффициент теплопроводности определяется измерением теплового потока и градиента температур. Численно он равен количеству тепла, которое проходит в единицу времени через единицу изотермической поверхности при температурном градиенте равном единице. С увеличением влажности происходит значительное увеличение коэффициента теплопроводности, в связи с чем в настоящее время в качестве изоляционных материалов используются материалы, которые обеспечивают паронепроницаемый барьер, предотвращающий проникновению воды и водяного пара, что обеспечивает не только высокоэффективные теплоизоляционные свойства, но и адгезию [4].

В случае использования тепловой изоляции, как средства, предохраняющего обслуживающий персонал от ожогов, температура поверхности не должна превышать 60 °С для изолируемых объектов, расположенных на открытом воздухе, в рабочей или обслуживаемой зоне либо 75 °С для объектов, расположенных за пределами рабочей или обслуживаемой зоны в соответствии с СП 41-103-2000 п. 2.2.3 [5]. Для изоляции арматуры, сальниковых компенсаторов и фланцевых соединений в настоящее время преимущественно применяются съемные теплоизоляционные конструкции.

Для повышения термического сопротивления процесса теплопередачи в настоящее время широкое распространение получили многослойные конструкции (рис. 1) [4, 6].

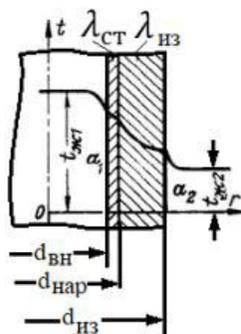


Рис. 1. Теплопередача через многослойную плоскую цилиндрическую стенку

Термические сопротивления отдельных слоев многослойной стенки могут значительно отличаться по величине, и слой со значительно более низкой теплопроводностью, чем теплопроводность других слоев, является определяющим [4].

Термическое сопротивление многослойной стенки определяется по уравнению [6, 7]

$$\sum R = \frac{1}{\alpha_1 d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2\lambda_{\text{ст}}} \ln \frac{d_{\text{нар}}}{d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2\lambda_{\text{из}}} \ln \frac{d_{\text{из}}}{d_{\text{нар}}} + \frac{1}{\alpha_2 d_{\text{из}}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4. \quad (1)$$

где α_1, α_2 - коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к внутренней поверхности трубы и коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности теплоизоляции к окружающей среде соответственно; $d_{\text{вн}}, d_{\text{нар}}$ – внутренний и наружный диаметр трубопровода, м; $d_{\text{из}}$ – диаметр теплоизоляционного материала, м; $\lambda_{\text{ст}}, \lambda_{\text{из}}$ – коэффициент теплопроводности стенки и теплоизоляционного материала, Вт/(мК).

Первое слагаемое в формуле (R_1) характеризует термическое сопротивление процессу теплоотдачи, второе и третье слагаемое (R_2, R_3) – термическое сопротивление теплопроводности, последнее слагаемое (R_4) – термическое сопротивление процессу теплоотдачи от наружной поверхности теплоизоляционного материала к окружающей среде.

Оптимальная толщина теплоизоляционного слоя определяется по минимуму суммы капитальных и эксплуатационных затрат с учетом стоимости используемых материалов и тепловой энергии. Для оценки

эффективности использования энергии необходимо использовать объективные показатели, которые позволяют сопоставить реально получаемые результаты с максимально возможными в обеспечении энерго- и ресурсосбережения [2].

При известных размерах трубопроводов и свойств перекачиваемой жидкости был выполнен расчет эффективности использования различных теплоизоляционных материалов (минеральная вата, вспененный этилен, полипропилен, пенополистирол, пенополиуритан) гидравлической схемы простого трубопровода, представленного на рис. 2.

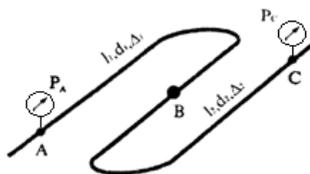


Рис. 2. Схема трубопровода

Определены толщина изоляционного слоя, температуры на поверхности каждого изоляционного слоя и на поверхности всей изоляционной конструкции. Представлен оптимальный вариант теплоизоляции среди рассмотренных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гирба Е.А. Теоретические основы энерго-ресурсосбережения: учеб. пособие / Е.А. Гирба, В. К. Леонтьев. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2011. 132 с.
2. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической технологии: учебник для учащихся техникумов / А.Н. Плановский, В.М. Рамм, С.З. Каган. 5-е изд., стер. М.: Химия, 1968. 848 с.
3. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник. В 2 кн. Кн. 1 / В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов [и др.]; под ред. В.Г. Айнштейна. М.: Логос; Высшая школа, 2002. 912 с.
4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. 15-е изд. М.: Альянс, 2009. 759 с.
5. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/b79/4294849186.pdf?ysclid=ltl1jrr3xb793100147>
6. Зарубин В.С. Расчет и оптимизация термоизоляции. М.: Энергоатомиздат, 1991. 192 с.
7. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. 2-е изд., стер. М.: Энергия, 1977. 344 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

Д.Н. Лосева, М.В. Королев, А.А. Гусева

Научный руководитель – **С.З. Калаева**, д-р техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье приведены сведения о составе и свойствах золошлаковых отходов, их негативном воздействии на окружающую среду и человека, а также результаты эффективности применения золошлаковых отходов в качестве адсорбента для извлечения ионов аммония из сточной воды.

Ключевые слова: золошлак, адсорбент, сточная вода, очистка, степень очистки

RESEARCH AND APPLICATION OF ASH AND SLAG WASTE

D.N. Loseva, M.V. Korolev, A.A. Guseva

Scientific Supervisor – **S.Z. Kalaeva**, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article provides information on the composition and properties of ash and slag waste, their negative impact on the environment and humans, as well as the results of the effectiveness of using ash and slag waste as an adsorbent for the extraction of ammonium ions from wastewater.

Keywords: ash slag, adsorbent, waste water, purification, degree of purification

В настоящее время в мире общее количество электрической и тепловой энергии осуществляют теплоэлектростанции (ТЭЦ), работа которых основана на органическом топливе. В результате работы теплоэлектростанций [1] образуется достаточно большое количество твердых золошлаковых отходов (ЗШО). Образование ЗШО входят в ряд первых мест по количеству и занимают большие площади по объемам золоотвалов [3]. Состав ЗШО зависит от вида топлива и составляет при сжигании бурого угля - 10-15; каменного угля - 3-40; антрацита - 2-30; торфа - 2-20; дров – 0,5-1,5; мазута – 0,15-0,2; сланцев - 50-80% [4].

В золошлаковых отходах содержится значительное количество опасных химических веществ, поэтому их складирование негативно воз-

действует на окружающую среду в целом. Основным токсичным веществом являются тяжелые металлы, в ЗШО содержится большая концентрация соединений алюминия, железа, хрома, марганца, ванадия, галлия, германия [2].

Аэрогенный вынос ЗШО предполагает загрязнение приземного слоя атмосферы, а ассимиляция твердых частиц приводит к загрязнению почв и грунтов зоны аэрации [5].

С золошлаками с ТЭЦ происходит техногенное загрязнение местности тяжелыми металлами, которые опасны для живых организмов даже при минимальных концентрациях [6]. В процессе сжигания угля за счет выгорания углеводорода и летучих соединений происходит концентрация сгорания угля и радионуклидов, их степень концентрации зависит от зольности углей, летучести оксидов в процессе горения. Самая основная опасность, которая существует здесь и сейчас, это загрязнение биосферы при распылении золы с тепловых электростанций, которая хранится на отвалах. В данной золе содержатся концентрированные элементы-радиоизотопы, в которых содержания радия значительно велики.

Так же проблемой является хранение ЗШО на золоотвале, так как в основном территориальное расположение отвалов является не далеко от городов, поэтому может возникнуть проблема в изменении поверхности рельефа.

Состав и свойства ЗШО зависят от различных факторов и влияют на направления их применения [7]. По литературным данным, в настоящее время есть несколько направлений применения ЗШО. Наибольшее применение золошлаковых отходов относится к строительной отрасли. Золошлаковые отходы рекомендуют использовать в качестве строительных материалов для производства цемента, бетона, керамических изделий, теплоизоляционных материалов, а также в дорожном строительстве. На основе ЗШО получают геополимерные материалы - геополимеры на основе зольных отходов, метокаолина и заполнителей могут использоваться в качестве легких неорганических строительных сырьевых материалов при производстве бетонов и керамического кирпича. Геополимерные растворы, приготовленные из золы уноса с добавлением кварцевого песка, обладают повышенной прочностью и пригодны для получения бетонов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Есть и другое применение ЗШО, например, производство сорбентов – цеолиты, мезопористые кварцевые материалы для очистки паров азотной кислоты, оксидов азота, нефть и нефтепродукты, алюминий и тяжелые металлы (цинк, хром, свинец, медь).

В Ярославской области образуется большое количество ЗШО, например, по данным Роспотребнадзора объем ЗШО за 2022 год составил 800 тонн. На сегодняшний день в регионе определено место под хране-

ние шлакозолоотвалов с ТЭЦ-1 [8-9]. Складирование этих отходов на полигонах представляет опасность загрязнения окружающей среды. С другой стороны, эти отходы являются дешевым сырьем для получения восстановленных продуктов.

Известно, что морфология золошлаков, их высокая удельная площадь поверхности и пористость, способствуют их использованию для водоочистки в качестве замены активированного угля или ионообменных смол. В нашей работе мы попытались применить зоошлак в качестве сорбента для извлечения ионов аммония из воды.

Целью работы явилась оценка эффективности применения золошлака в качестве адсорбента для извлечения ионов аммония из воды.

Объектом исследования стал золошлаковый отход, образующийся в котельной г. Ростова (Ярославская область). Котельная предназначена для отопления 12-квартирного жилого дома и работает с 25 сентября по 30 апреля (218 дней в году). В течение отопительного периода расходуетс 60 т угля, и в результате в отвале накапливается 3,9 т золошлака.

Нами был определен элементный состав отхода на спектрометре EDX 6000B с энергодисперсионным рентгеновским излучением (EDXRF). Результаты, выдаваемые прибором, представлены на рис. 1, 2. В верхней части рисунка представлены легкие элементы, а в нижней – соответственно, тяжелые элементы. Таким образом, основными элементами, встречающимися в золошлаке в наибольших количествах, являются Si, Al, Ca и Fe.

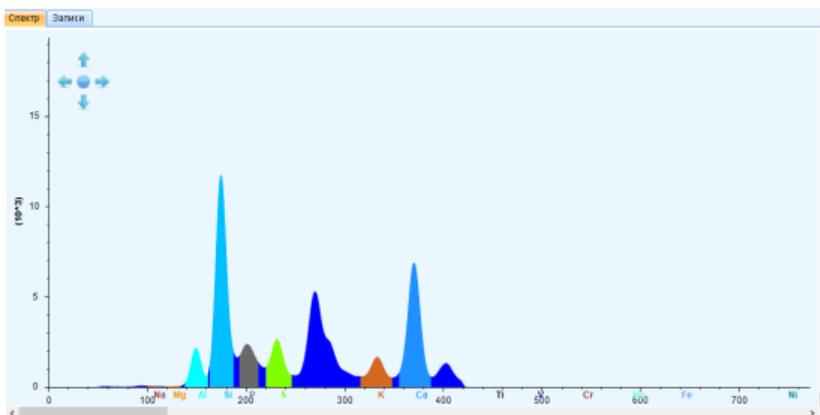


Рис. 1. Результаты анализа компонентного состава отхода, определенные на спектрометре EDX 6000B с энергодисперсионным рентгеновским излучением (EDXRF)

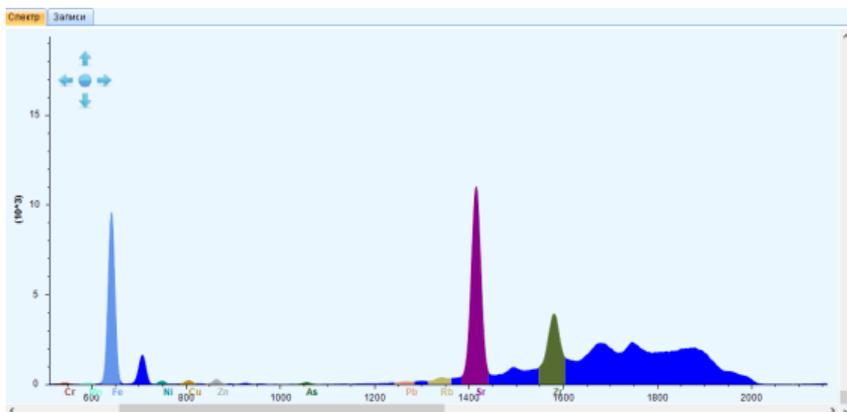


Рис. 2. Результаты анализа компонентного состава отхода, определенные на спектрометре EDX 6000B с энергодисперсионным рентгеновским излучением (EDXRF)

Были определены некоторые физико-химические свойства золошлака, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-химические свойства золошлака (г. Ростов)

№	Изучаемое свойство	Значение изучаемого свойства	
1	рН	7,6	
2	Насыпная плотность	0,712 г/см ³	
3	Потери массы при прокаливании	9,20%	
4	Зерновой состав	Диаметр отверстий сита, мм	Масса остатка на сите, г
		1	1246,00
		1,6	679,00
		2	4,44
3,15	11,30		
5	Влажность	34 %	
6	Содержание диоксида кремния	19,76 %	
7.1	Содержание оксидов кальция	9,8 %	
7.2	Содержание оксидов магния	3,9 %	

Для применения в качестве сорбента для очистки воды золошлак был предварительно прокален в течение 2 ч при температуре 700 °С. Для исследования процесса очистки воды было использовано следующее соотношение: 1 г золошлака на 1 дм³ загрязненной воды. Эксперименты проводились при исходной концентрации ионов аммония 30 мг/дм³, что характерно для хозяйственно-бытовых стоков. Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты экспериментов очистки воды с помощью сорбента

Частота вращения, об/мин	Начальная концентрация ионов аммония, мг/дм³	Время контакта, мин	Конечная концентрация ионов аммония, мг/дм³	Степень очистки, %
100	30	60	21,33	28,9
		120	20,22	32,6
		180	17,64	41,2
200	30	60	12,09	59,7
		120	10,95	65,5
		180	9,51	68,3
300	30	60	10,14	66,2
		120	8,43	71,9
		180	7,38	75,4

Из табл. 2 видно, что при увеличении частоты вращения до 300 об/мин наблюдается следующая динамика: чем выше длительность процесса и чем выше скорость вращения, тем в большей степени наблюдается процесс поглощения золошлаков ионов аммония в воде, а значит, лучше степень очистки воды. Отсюда можно сделать вывод, что лучше всего процесс очистки наблюдается при частоте вращения пробы воды и сорбента 300 об/мин и времени контакта 180 мин.

Также проведена серия экспериментов с более концентрированными пробами сточной воды. Была приготовлены модельные растворы с различной концентрацией ионов аммония 5, 25, 50, 75 и 100 мг/дм³. Процесс очистки проводился при частоте вращения 300 об/мин длительностью 180 мин. Результаты экспериментов представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты экспериментов очистки воды при частоте вращения 300 об/мин длительностью 180 мин

Исходная концентрация ионов аммония в воде, мг/дм³	Конечная концентрация ионов аммония, мг/дм³	Степень очистки, %
10	2,87	71,3%
25	5,95	76,2%
50	18,54	62,92%
75	39,68	47,093%
100	61,5	38,5%

Наибольшая степень очистки - 76,2% - наблюдается при исходной концентрации 25 мг/дм³, что говорит о целесообразности применения золошлака в качестве сорбента для ионов аммония лишь в пределах хозяйственно-бытовых стоков.

В работе проведено исследование по элементному составу и некоторым физико-химическим свойствам золошлакового отхода котельной города Ростова. Высокое содержание в золошлаке кремния, алюминия и железа, а также пористость и высокая удельная площадь поверхности отхода говорит о его пригодности для использования в процессах водоочистке.

В ходе проведенных экспериментов была показана следующая зависимость: чем выше частота вращения и длительность процесса сорбции, тем выше степень очистки воды от ионов аммония. При начальной концентрации ионов аммония 30 мг/дм³ максимальная степень очистки составила 75,4% (300 об/мин, 180 мин.). При начальной концентрации ионов аммония в диапазоне от 5 до 100 мг/дм³ более высокая степень очистки (76,2%) наблюдалась при 25 мг/дм³, что дает основания использовать золошлаковый отход для очистки хозяйственно-бытовых стоков от ионов аммония.

При более высоком содержании ионов аммония золошлак показывает менее эффективные результаты. Отход, образующийся при очистке сточных вод (использованный золошлак, загрязненный ионами аммония) рекомендуется использовать в качестве мелиорирующей добавки, не только повышающей водоудерживающую способность почв, но и способной насыщать почву ионами аммония и различными микроэлементами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бочаров В.Л.* Геоэкологические аспекты прогноза изменения окружающей среды в районах полигонов захоронения золошлаковых отходов теплоэлектростанций / В.Л. Бочаров, П.Н. Крамарев, Л.Н. Строгонова // Вестник Воронежского университета. Геология. 2005. №1, С. 233-240.

2. Экологические проблемы золошлакоотвала Благовещенской ТЭЦ/ С.М. Радомский, А.Ф. Миронюк, В.И. Радомская, А.А. Лукичев // Экология и промышленность России. 2004. Март. С. 28-31.
3. *Андреева С.Г.* Гигиеническая оценка золошлаковых отходов, образующихся при сжигании углей Канско-Ачинского бассейна: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Кемерово, 2006. 21 с.
4. *Бобович Б.Б.* Переработка промышленных отходов: учебник для вузов. М.: МП Интермет Инжиниринг, 1999. 445 с.
5. *Футорянский Л.Д.* Геоэкологические критерии оптимального размещения золошлаков ТЭС в природных условиях среднего Урала: автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург, 2008. 26 с.
6. *Розанов Л.Л.* Геоэкология: учебно-методическое пособие для вузов. М.: Долфа, 2010. 269 с.
7. *Пугач Л.И.* Энергетика и экология: учебник. Новосибирск: издательство НГУ, 2003. 504 с.
8. *Куликова М.С.* Экология и обращение с отходами в Ярославской области / М.С. Куликова, Э.А. Арустамов, И.В. Левакова // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №6 (2017). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/110EVN617.pdf> (доступ свободный)
9. Роспотребнадзор Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. URL: <https://groro.rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/groro/21248/>

ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ

Р.Р. оглы Насибов, П.А. Загорец, Н.Ю. Алешина

Научный руководитель – **Н.Ю. Алешина**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

В процессе работы была изучена возможность получения гексаферрита бария электрохимическим способом с последующим прокаливанием осадка при 900-1200 °С.

***Ключевые слова:** гексаферрит бария, магнетит, прокаливание, комбинированный способ*

OBTAINING MAGNETIC MATERIALS IN A COMBINED WAY

R.R. ogly Nasibov, P.A. Zagorets, N.Yu. Aleshina

Scientific Supervisor – **N.Yu. Aleshina**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

In the course of the work, the possibility of obtaining barium hexaferrite by electrochemical method with subsequent calcination of the precipitate at 900-1200 °C was studied.

***Keywords:** barium hexaferrite, magnetite, calcination, combined method*

Остро стоит проблема по выявлению потенциальных новых способов по производству магнитных материалов, и применению в этом производстве отходов промышленности металлургии, снижение антропогенной нагрузки на биосферу. Эта проблема рассмотрена применительно к использованию в качестве источников железа на электрохимическом этапе отходов производства (железную стружку, гальваношламы, отходы, образующиеся в процессе обезжелезивания воды), которые утилизируются с трудом на полигоны, загрязняя почвенный покров для синтеза магнитных материалов.

Развитие техники требует магнитных материалов с совершенно новыми свойствами. В электрооборудовании современных отечественных и зарубежных автомобилей довольно широко используются магнитные

материалы. Также используются в исполнительных двигателях, стартерах, магнитных пробок для удаления железосодержащих примесей из масла коробки передач и заднего моста. Это связано с новыми тенденциями в автомобилестроении.

Самое широкое использование гексаферрита бария в различных областях науки и техники определяет необходимость разработки новых методов его получения. Важной целью и задачей для продолжения активного исследования свойств бариевых гексаферритов, а также способов их получения являются их химическая стабильность, стойкость к коррозии и возможность использования в их производстве многотоннажных технологических отходов.

Для комбинированного способа получения магнитных материалов по чистым компонентам были получены оптимальные условия, используя которые проводились опыты с отходами производства (железную стружку, гальваношламы, отходы, образующиеся в процессе обезжелезивания воды).

В работе с отходом хлоридом бария применялось два типа электрода, стальная пластина и стальная стружка. Результаты работы представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты работы с отходом хлорида бария и двумя типами электрода

Тип электрода	Компонент	Массовая доля BaCl_2 , %	Массовая доля NaOH , %	pH	Намагниченность насыщения, кА/м	
					Электрохимический этап	Термический этап
Стальная пластина	$\text{BaCl}_{2\text{отх}}$	0,9	0,04	8	56,8	159
Стальная стружка	$\text{BaCl}_{2\text{отх}}$	0,9	0,04	8	68,1	213

Далее была проведена работа с гальваношламом (ГШ), который образуется после очистки сточных вод завода ЯЗДА. Гальваношлам имеет в своем составе 55% ионов железа. При получении гексаферрита бария массовая доля ГШ составила 5% и массовая доля отхода хлорида бария составила 0,9%, в качестве проводника тока использована была платиновая проволока. Намагниченность насыщения полученного образца гексаферрита бария составила 127,3 кА/м. Рентгеноструктурная дифрактограмма, приведенная на рис. 1, после термического этапа показала наличие гематита (79%) и магнетита (21%), это говорит о недостаточном количестве хлорида бария при получении гексаферрита бария. Поэтому в

данном случае получен магнитный материал, схожий по параметрам на магнетит.

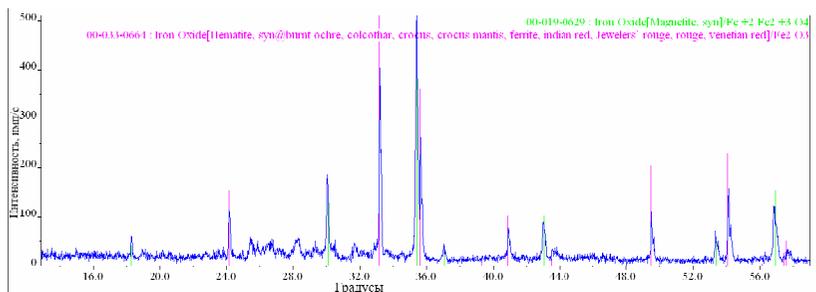


Рис. 1. Рентгеноструктурный спектр магнитного материала из отходов гальваношлама и хлорида бария

При работе с отходом обезжелезивания воды, имеющего в своем составе 65% железа, соотношения и параметры процесса были идентичными как при использовании ГШ. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты работы с отходом хлорида бария и отходом обезжелезивания

Тип электрода	Компонент	Массовая доля $BaCl_2$, %	Массовая доля $NaOH$, %	pH	Намагниченность насыщения кА/м
Отход обезжелезивания воды	$BaCl_2$ отх.	0,9	0,25	8	253,3
Образец магнетита (1) и гексаферрита бария (2) из чистых компонентов					1 – 52,8 2 – 344,3

Анализируя табл. 2, можно заметить, что намагниченность насыщения магнитного образца сопоставима с образцом гексаферрита бария, но коим не является рентгеноструктурная дифрактограмма, приведенная на рис. 2 после термического этапа, показала наличие моноферрита бария, гематита, магнетита, кварца и силиката железа.

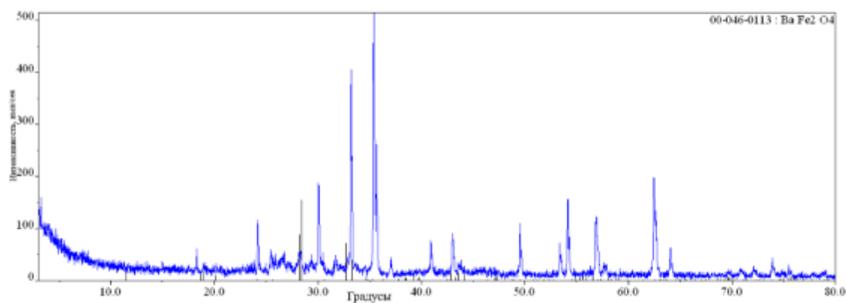


Рис. 2. Рентгеноструктурный спектр магнитного материала из отходов обезжелезивания воды и хлорида бария

Проанализировав все полученные данные по намагниченности насыщения и рентгеноструктурного анализа, можно сказать, что необходим подбор оптимального соотношения железосодержащего отхода и хлорида бария для получения гексаферрита бария.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Магнитные материалы: 2012. URL: <http://magnetmagazin.ru>
2. Нано-размерные порошки гексаферрита бария и гетероструктуры на его основе: 2009. URL: <http://www.physics.by>.
3. Влияние режима диффузионного обжига на свойства гексаферрита бария: 2011. URL: <http://new.misis.ru>.
4. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез ферритов в электрическом поле: 2011. URL: <http://www.ism.ac.ru>.

ПЕРЕХОДНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ЕМКОСТНОГО АППАРАТА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

А.А. Рябиков, С.В. Натареев

Научный руководитель – **С.В. Натареев**, д-р тех. наук, профессор

Ивановский государственный химико-технологический университет

Рассматриваются переходные режимы работы емкостного аппарата непрерывного действия при ионообменной сорбции ионов меди на катионите КУ-2-8.

Ключевые слова: ионный обмен, переходный процесс, емкостной аппарат с мешалкой

TRANSIENT MODE OF OPERATION OF A CONTINUOUS CAPACITIVE DEVICE

A.A. Ryabikov, S.V. Natareev

Scientific Supervisor – **S.V. Natareev**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Ivanovo State University of Chemical Technology

The transient modes of operation of a continuous capacitive apparatus for ion exchange sorption of copper ions on KU-2-8 cationite are considered.

Keywords: ion exchange, transient process, capacitive device with a stirrer

Ионный обмен нашел широкое применение для тонкой очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, корректировки минерального состава очищенных сточных вод (умягчения, снижения общего солевого содержания), удаления ряда органических и неорганических веществ. Ионообменная технология позволяет извлекать ценные вещества и очищать сточную воду до предельно допустимых значений концентрации с последующим ее использованием в технологических процессах или обратном водоснабжении [1].

Ионный обмен – это гетерогенный химический процесс с участием электролитов и образуемых ими ионов. Одной из фаз гетерогенной системы является ионит [2]. В ходе процесса происходит эквивалентное перераспределение ионов между раствором электролита и полиэлектролита.

Для достижения наиболее высокой эффективности процесса необходимо применение современного высокопроизводительного ионообменного оборудования. Перспективным аппаратным оформлением процессов ионного обмена являются аппараты непрерывного действия, работающие в стационарном, неизменном во времени режиме. Однако при наличии внешних возмущений, которые могут возникнуть в ходе изменения концентрации или расхода раствора, подаваемого на очистку, замене ионообменного материала, изменении скорости реакции двойного обмена между ионитом и раствором, а также в других известных случаях [3], наблюдается отклонение от стационарного режима работы и изменение выходных параметров процесса до новых установившихся значений.

Актуальность исследования переходных режимов работы ионообменного оборудования обусловлена необходимостью снижения затрат сырья, электрической и тепловой энергии для максимально быстрого получения обрабатываемой воды заданного качества.

Целью данной работы является экспериментальное исследование процессов сорбции ионов меди в емкостном аппарате непрерывного действия на сульфокислом катионите КУ-2-8. Для экспериментального исследования принимались следующие параметры ионообменного процесса: концентрация раствора на входе в аппарат $C_{\text{вх}} = 0,1, 0,05, \text{ и } 0,01$ кг-экв/м³; концентрация раствора в аппарате в начальный момент времени $C_0 = 0$ кг-экв/м³; объем раствора в аппарате $V_{\text{ж}} = 9 \cdot 10^{-4}$ м³; объем катионита в аппарате $V_{\text{т}} = 1 \cdot 10^{-4}$ м³; расход раствора в аппарат $Q_{\text{ж}} = 1,3 \cdot 10^{-5}, 1 \cdot 10^{-5}$ м³/с; расход катионита в аппарат $Q_{\text{к}} = 1,4 \cdot 10^{-6}$ м³/с и время процесса $\tau = 2500$ с. В ходе проведения эксперимента на выходе из аппарата отбирались пробы и определялась концентрация целевого компонента путем измерения оптической плотности раствора при длине волны, равной 610 нм, на спектрофотометре U-2001 (Hitachi, Япония). Погрешность измерений не превышала 3%. По полученным значениям строились выходные кривые, позволяющие оценить протекание ионообменного процесса.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 1 и 2, на которых по оси абсцисс указано время процесса τ , а по оси ординат – безразмерная концентрация раствора $N(\tau) = C(\tau) / C_{\text{вх}}$.

Как видно из представленных на рис. 1 и 2, на форму кривых разгона определенное влияние оказывают такие параметры процесса как расход жидкой фазы и концентрация исходного раствора. На начальных стадиях процесса наблюдается резкое повышение концентрации раствора, что связано с поступлением в аппарат исходного раствора. Затем наблюдается плавное выравнивание концентрации раствора внутри аппарата вследствие диффузии ионов сорбируемого вещества катионитом. Установлено, что при увеличении расхода очищаемого раствора на входе

наблюдается уменьшение времени переходного процесса и увеличение концентрации раствора на выходе из аппарата.

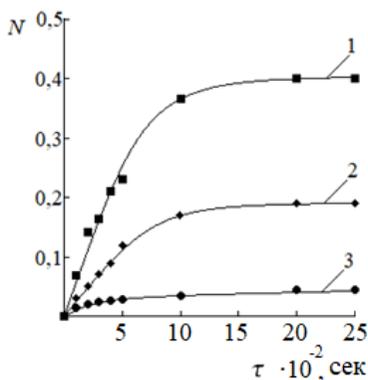


Рис. 1. Выходные кривые ионообменной сорбции ионов меди на катионите:

$Q_p = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$; $V_{\text{ж}} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$; $V_T = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$; $C_0 = 0$;
 $C_{\text{вх}}$, кг-экв/м³: 1 – 0,1; 2 – 0,05; 3 – 0,01

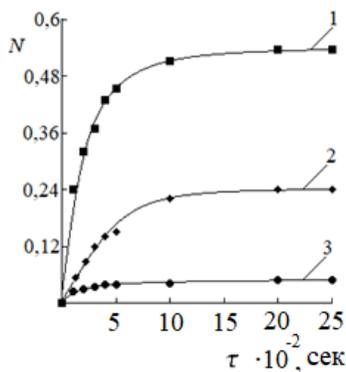


Рис. 2. Выходные кривые ионообменной сорбции ионов меди на катионите:

$Q_p = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$; $V_{\text{ж}} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$; $V_T = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$; $C_0 = 0$;
 $C_{\text{вх}}$, кг-экв/м³: 1 – 0,1; 2 – 0,05; 3 – 0,01

Таким образом, в ходе экспериментальных исследований изучены переходные режимы работы при ионообменной сорбции ионов меди на сульфокислом катионите КУ-2-8 в емкостном аппарате непрерывного действия. Из анализа полученных данных выяснено, что существенное

влияние на выходные значения параметров процесса оказывает расход и концентрация исходного раствора, подаваемого на очистку. Для прогнозирования времени выхода аппарата непрерывного действия на стационарный режим работы, планируется разработка математического описания процесса ионного обмена и последующая проверка сходимости с результатами полученными экспериментально.

Исследование проведено с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Очистка сточных вод гальванопроизводства методом ионного обмена / Д.Т. Измайлова, Н.С. Куролап, О.Ф. Стоянова [и др.] // Гальванотехника и обработка поверхности. 1994. Т. 3, № 5-6. С. 68-74.
2. *Кокотов Ю.А.* Иониты и ионный обмен. Л.: Химия, 1980. 152 с.
3. Математическое моделирование и управление процессом короткоцикловой безнагревной адсорбции / В.Г. Матвейкин, В.А. Погонин, С.А. Путин, С.А. Скворцов. М.: Изд-во Машиностроение, 2007. 140 с.

ФОСФАТЫ В РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЯРОСЛАВЛЯ

Э.М. Сафиуллин, Т.Р. Насибов, О.В. Ладыгина

Научный руководитель – **О.В. Ладыгина**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье приводятся графики сезонной изменчивости концентрации фосфат-ионов в Волге и ее притоках в городе Ярославль. Установлена зависимость морфометрических параметров русла реки от предрасположенности к накоплению фосфатов. Сделаны выводы о вкладе фосфатов в процесс эвтрофикации Волги в г. Ярославль.

***Ключевые слова:** эвтрофикация, Волга, Которосль, фосфаты, морфометрические показатели*

PHOSPHATES IN YAROSLAVL RIVER ECOSYSTEMS

E.M. Safiullin, T.R. Nasibov, O.V. Ladygina

Scientific Supervisor – **O.V. Ladygina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article presents graphs of seasonal variability of phosphate ion concentrations in the Volga and its tributaries in the city of Yaroslavl. The dependence of the morphometric parameters of the riverbed on the predisposition to phosphate accumulation has been established. Conclusions are drawn about the contribution of phosphates to the process of eutrophication of the Volga River in Yaroslavl.

***Keywords:** eutrophication, Volga, Kotorosl, phosphates, morphometric indicators*

Волга – это крупнейшая река Европы, проходящая через множество крупных городов и сельскохозяйственных районов верхневолжского региона. Вследствие этого природный водоток подвергается сильному антропогенному воздействию, которое увеличивает поступление биогенных элементов в поверхностные воды [1].

В настоящее время в Волжском бассейне наблюдаются превышения содержания фосфора в форме фосфат-ионов, который является основным фактором, определяющим степень эвтрофикации [2]. Данный

биогенный элемент поступает в воду преимущественно из поверхностного стока с садоводческих товариществ, канализации, а также промышленных и бытовых стоков.

Целью исследования является оценка концентраций фосфатов в р. Волга и ее притоках в г. Ярославль и поиск взаимосвязи количественных характеристик русла реки (на примере р. Которосль) от содержания растворенных фосфатов.

Для достижения поставленной цели были отобраны пробы воды из разных точек Волги и Которосли в течение года и проведен анализ содержания фосфатов с помощью спектрофотометрического метода [3]. Также были измерены морфометрические параметры реки с использованием карты глубин.

Объектом исследования является река Волга и ее притоки: Которосль, Толгоболка, Нора, Дунайка, Урочь.

Для оценки количественных характеристик русла реки на концентрацию растворенных фосфатов были выбраны 4 точки вблизи места впадения Которосли в Волгу. Места отбора проб указаны на карте (рис. 1).

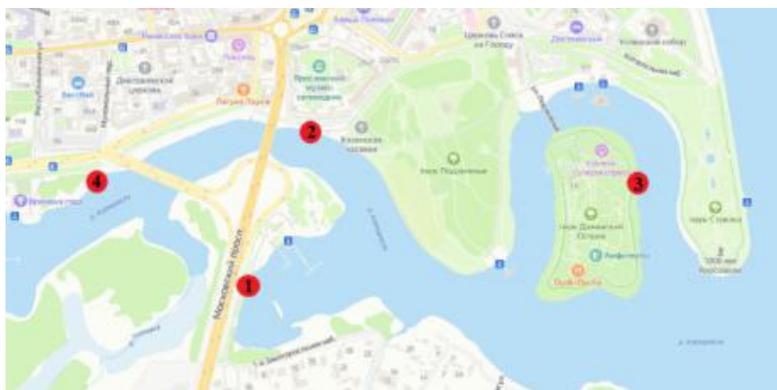


Рис. 1. Река Которосль:
1, 2, 3, 4 – места отбора проб

За период 2023-2024 сезонная изменчивость содержания фосфатов в исследуемых реках имела волновой характер.

В зимний период концентрация остается практически неизменной, а снижение наблюдается весной вследствие активности водорослей и достигает минимума с летом в разных реках. Осенью наблюдается рост фосфатов, который достигает наибольшего значения в октябре по причине полного прекращения развития водорослей.

Согласно приказу Минсельхоза России [4] предельно допустимая концентрация (ПДК) фосфатов, в пересчете на фосфор, в воде составляет – 0,2 мг/дм³.

За весь период наблюдений превышение ПДК по фосфатам было выявлено в реке Толгоболка. Максимальная концентрация фосфатов выше ПДК в 5,7 раза. В остальных реках наблюдались очень низкие концентрации фосфатов в воде.

По результатам корреляционно анализа была установлена высокая обратная взаимосвязь между концентрацией фосфат-ионов и площадью водного сечения (-0,96), гидравлическим радиусом (-0,92) и наибольшей глубиной реки (-0,94).

Выводы

Значительное влияние в удерживании фосфатов в реке вносит глубина и площадь водного сечения.

На основании полученных в ходе работы данных можно предположить, что в районе г. Ярославль фосфор не является ведущим фактором, определяющим развитие фитопланктона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаппаров Ф. А. Оценка влияния морфометрических показателей на гидробиологический режим водохранилищ (на примере Талимарджанского водохранилища) / Ф.А. Гаппаров, А.Р.У. Хайдаров, Д.Е.У. Атакуло // Международные научные чтения: сборник статей Международной научно-практической конференции. Петрозаводск. 28 февраля 2023 г. г. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2023. С. 194-200.
2. Стрельцова Н.Б. Особенности эвтрофирования малых рек Ростовской области / Н.Б. Стрельцова, С.А. Шептиев // Экология и водное хозяйство. 2020. №4 (7). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-evtrofirovaniya-malyh-rek-rostovskoy-oblasti> (дата обращения: 27.01.2024)
3. ПНД Ф 14.1:2:4.112-97. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации фосфат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом / Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия. М.: ФБУ «ФЦАО», 2011. 18 с.
4. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 "Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения" [Электронный ресурс] / Минсельхоз России. URL: <https://base.garant.ru/71586774/?ysclid=lt5xd0xlp915894230> (дата обращения 28.02.2024)

ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ИОННОГО ОБМЕНА

А.С. Соколова, А.С. Нефедова, Н.Ю. Алешина

Научный руководитель – **Н.Ю. Алешина**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается возможность очистки сточной воды от ионов тяжелых металлов с помощью метода ионного обмена для использования в производственных процессах.

Ключевые слова: *очистка, ионообмен, сточная вода, ионы тяжелых металлов.*

WATER PURIFICATION FROM HEAVY METAL IONS BY ION EXCHANGE METHOD

A.S. Sokolova, A.S. Nefedova, N.Yu. Aleshina

Scientific Supervisor - **N.Yu. Aleshina**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

The possibility of purifying wastewater from heavy metal ions using the ion exchange method for use in production processes is being considered.

Keywords: *purification, ion exchange, wastewater, heavy metal ions*

Метод ионного обмена позволит очистить сточные воды и утилизировать ценные примеси (цинк, медь, хром, никель, свинец, и др.), извлечь ядовитые соединения (мышьяк, фосфор, цианистые соединения), смягчить и обессолить, очистить воду до предельно допустимых концентраций и обеспечить возможность использования очищенных сточных вод в производственных процессах или системах оборотного водоснабжения (1).

Процесс обмена между ионами, находящимися в растворе называют ионный обмен, а ионы, присутствующие на поверхности твердой фазы - ионитами.

Ионитные смолы по знаку заряда обменивающихся ионов разделяются на катиониты и аниониты, проявляющие соответственно кислот-

ные или щелочные свойства. Смолы ионитные подразделяются на природные и искусственные или синтетические, неорганические (минеральные) и органические.

В контакте с водой ионитные смолы не растворяются, но, поглощая некоторое количество воды и набухая, являются гелями с ограниченной растворимостью. Набухание смолы влияет на скорость и полноту обмена ионов, а также на селективность. Селективность обмена зависит от величины давления набухания в порах ионита и от его размера. При малом размере пор большие ионы не могут достичь внутренних активных групп (2).

Реакция идет до установления ионообменного равновесия. Скорость установления равновесия зависит от внешних и внутренних факторов, таких как гидродинамический режим жидкости, концентрация обменивающихся ионов, структура зерна ионита и его проницаемости для ионов.

В ходе работы был использован раствор, содержащий в себе ионы хрома и никеля. В растворах никель присутствует в виде катиона Ni^{2+} , который имеет склонность к образованию комплексных форм. В связи с этим для его извлечения могут быть использованы различные типы ионообменных смол. Соединения хрома относят к числу наиболее токсичных компонентов загрязнения, при этом наиболее токсичны соединения шестивалентного хрома. В зависимости от pH среды Cr(VI) находится в водной среде либо в форме иона CrO_4^{2-} (щелочные растворы), либо иона $Cr_2O_7^{2-}$ (кислые растворы).

Очистка воды производилась на установке, состоящей из двух колонок, заполненными катионитом КУ-2 и анионитом АН-2.

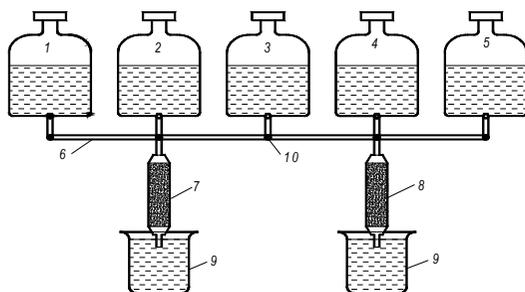


Рис. 1. Схема ионообменной лабораторной установки для очистки сточной воды:

1 - склянка с регенерирующим раствором; 2 - сточная вода; 3 - склянка с промывной водой; 4 - склянка со сточной водой; 5 - склянка с регенерирующим раствором; 6 - распределительная гребенка; 7 - колонка с катионитом; 8 - колонка с анионитом; 9 - приемники очищенной воды; 10 - трехходовой кран

Вода, предназначенная для очистки, подавалась поочередно на катионит или анионит. Регулировка скорости подачи вода осуществляется при помощи кранов на склянках с водой и трехходовых кранов. Пробы воды отбирались через определенное время.

Результаты очистки сточной воды представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты очистки сточной воды

Ионитовая смола	Время отбора пробы, мин	Концентрация удаляемых ионов в исходной воде, мг/дм ³		Концентрация удаляемых ионов в фильтрате, мг/дм ³		Эффективность очистки, %	
		Ni ²⁺	Cr (VI)	Ni ²⁺	Cr (VI)	Ni ²⁺	Cr (VI)
КУ-2	5	8	250	0,7	25,6	91,2	89,8
	10			0,6	22,3	92,5	91,0
	15			0,5	22,2	93,7	91,1
	20			0,6	21,8	92,5	91,3
АН-2	5	8	250	3,1	2,7	61,2	98,7
	10			2,9	2,5	63,7	99,0
	15			2,6	2,4	67,5	99,0
	20			2,9	2,6	63,5	98,7

Результаты работы показали, что со временем ионитовая смола нуждается в регенерации из-за снижения эффективности очистки. Наиболее эффективностью преобладает смола КУ-2, показавшая степень очистки до 93,7% при очистке от ионов никеля, а смола АН-2 – лучше показала от ионов хрома, эффективность достигла 98.7%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриев М.Т.* Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде: справ. изд. / М.Т. Дмитриев, Н.И. Казнина, И.А. Пинигина. М.: Химия. 1989. 368 с.
2. *Лайкинс Б.У.* Новейшие системы очистки питьевой воды для малых населенных пунктов // Водоснабжение и санитарная техника. 1994. № 1. С. 17-20.
3. *Лурье Ю.Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия, 1964. 315 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЧИСТКИ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ШАХТНЫХ ВОД

И.Г. Тихонова, А.Д. Копинкова

Научный руководитель – **Е.Л. Никитина**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Эксплуатируемые и закрытые шахты создают общенациональную проблему загрязнения окружающей среды. Откачиваемые шахтные воды имеют повышенную минерализацию, а также содержат токсичные соединения. Необходимость очистки шахтных вод является необходимой мерой для снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: подземные воды, реагентная очистка, обезвреживание осадка, природный сорбент

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF MINERALIZED MINE WATER TREATMENT

I.G. Tikhonova, A.D. Kopinkova

Scientific Supervisor – **E.L. Nikitina**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Operated and closed mines pose a nationwide environmental pollution problem. The pumped mine waters have increased mineralization and also contain toxic compounds. The need to clean mine waters is a necessary measure to reduce the negative impact on the environment.

Keywords: groundwater, reagent treatment, sediment neutralization, natural sorbent

Горнодобывающие работы сопровождаются образованием большого количества минерализованных дренажных вод, которые, как правило, сбрасывают в природные водоемы. Эти воды представляют собой смесь вод подземных горизонтов, встречающихся по ходу увеличения глубины выработки. Средняя минерализация шахтных вод имеет тенденцию к возрастанию. Сброс минерализованных шахтных вод оказывает

негативное влияние на флору и фауну водоемов, а при длительном воздействии приводит к засолению [1].

Основной причиной неудовлетворительного экологического состояния водных объектов вблизи добычи полезных ископаемых является сброс больших объемов загрязненных вод, что связано с перегруженностью и низкой эффективностью работы очистных сооружений или их отсутствием. Объем образующихся шахтных вод зависит от многих факторов и составляет от 100 до 1000 м³/ч. Формирование состава шахтных вод зависит от гидрологических, горно-геологических и горно-технических факторов. В зависимости от глубины залегания полезных ископаемых состав шахтных вод имеет различный химический состав [2].

Известные методы опреснения, деминерализации не нашли применения в условиях умеренного климата и нерентабельны на объектах малого предпринимательства. Универсального решения проблемы очистки шахтных и карьерных вод не существует, так как состав их значительно отличается, и они имеют непостоянный расход. Это приводит к высоким экономическим затратам при реализации различных схем очистки. В качестве объекта исследования использовали карьерные воды Оренбургской области, которые по своим качественным показателям не удовлетворяют нормативным требованиям на сброс и обладает повышенной минерализацией, содержит значительное количество взвешенных веществ, нефтепродукты и ряд других загрязнений.

Разработанная технология очистки состоит в осаждении загрязняющих веществ с добавлением реагентов, ускоряющих образование гидроксидов и утилизации, образующегося осадка. В качестве реагентов первичной стадии очистки использовались соли бария для удаления сульфатов, а также реагенты обеспечивающие умягчение воды и поддержание оптимального уровня pH. Выбрана оптимальная дозировка реагентов, обеспечивающая снижение содержания сульфат-ионов, жесткости воды, а также значения pH.

Процесс водоочистки связан с образованием шлама (осадка) потенциально опасного для окружающей среды. Это определяет необходимость экологизации технологических решений в очистке минерализованных вод [3]. Использовались природные сорбенты, которые выполняют функцию естественных детоксикантов с большим спектром биологического действия. Накопленные осадки после реагентной очистки карьерных вод были смешаны с природными сорбентами в естественных условиях. Почва приобретает повышенную устойчивость к водной и ветровой эрозии. Будучи связанными в водонерастворимые соединения, тяжелые металлы теряют способность мигрировать по профилю грунта в подземные, поверхностные воды, в растения [4]. Необходимость очистки шахт-

ных вод подтверждается экономической целесообразностью их очистки для снижения негативного воздействия на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Войтович С.П.* Геохимические особенности шахтных вод угольных бассейнов Украины и России // Молодой ученый. 2015. № 23. С. 395-397.
2. Требования к качеству шахтных и карьерных вод, используемых для технических и хозяйственно-бытовых нужд предприятий угольной промышленности / ВНИИОСуголь. Пермь, 1986. 12 с.
3. Комплексная переработка шахтных вод / А.Т. Пилипенко [и др.]; под ред. А.Т. Пилипенко. Киев: Техника, 1985. 183 с.
4. *Аксенов В.И.* Переработка осадков сточных вод: Учебное пособие / В.И. Аксенов, Е.В. Мигалатий, А.Ф. Никифоров. Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2002. 81 с.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗВИТИЮ ПРАКТИК НАСТАВНИЧЕСТВА ДЛЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Д.А. Билецкая¹, Ю.А. Колмаков²

Научный руководитель - **Д.А. Билецкая**, научный сотрудник

¹Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России

²Ярославский государственный технический университет

В статье проводится анализ предложения развития практик наставничества для молодых ученых, изложены виды, формы, принципы и стадии наставнической деятельности, проведен обзор нормативной документации и описан опыт университетов в видах развития наставничества, а также описаны проблемы внедрения целевой модели наставничества.

Ключевые слова: наставничество для молодых ученых, целевая модель наставничества, внедрение модели наставничества

ANALYSIS OF PROPOSALS FOR THE DEVELOPMENT OF MENTORING PRACTICES FOR YOUNG SCIENTISTS

D.A. Biletskaya¹, Yu.A. Kolmakov²

Scientific Supervisor - **D.A. Biletskaya**, Research Associate

¹All-Russian Research Institute for Civil Defence of the EMERCOM of Russia (the Federal Science and High Technology Center)

²Yaroslavl State Technical University

The article analyzes the proposals for the development of mentoring practices for young scientists, outlines the types, forms, principles and stages of mentoring activities, reviews regulatory documentation and describes the experience of universities in the types of mentoring development, as well as describes the problems of implementing a target mentoring model.

Keywords: mentoring for young scientists, target mentoring model, implementation of the mentoring model

Наставничество в настоящее время рассматривается как одна из подсистем управления персоналом и как ресурс оперативной передачи

знаний и трансляции корпоративных ценностей в процессе решения реальных производственных задач и достижения стратегических целей компании. Наставничество – это форма адаптации и профессиональной подготовки персонала на предприятии, выполнение профессиональных функций под наблюдением более опытного, специально отобранного и обученного сотрудника с регулярным получением конструктивной обратной связи.

Цели наставничества:

- упорядочивание процесса развития профессиональных компетенций;

- развитие способности самостоятельно и качественно выполнять возложенные на сотрудника задачи в рамках функционала занимаемой должности. Также наставничество помогает более оперативно осуществлять адаптацию к корпоративной культуре, усвоению традиций и правил поведения в конкретном подразделении и на предприятии в целом.

Введение

Проанализируем проблемы наставничества в системе высшего образования. Процессы модернизации и реорганизации в высшем образовании, цифровизация, активное сотрудничество бизнеса и образовательных учреждений предопределили необходимость использования в системе высшего образования наиболее эффективных и актуальных видов наставничества, отвечающих региональным и национальным вызовам, к которым на сегодня следует отнести следующие:

- адаптационное – относится к «психологическому переформатированию студентов, которое выражается в существенном влиянии на их самоопределение в вузе, а также после получения ими квалификации»;

- профессиональное (инструментальное) – реализуется в сфере планирования карьеры, повышения профессиональных навыков, например, через поддержку студентов во время стажировки, профессиональных практик или при содействии успешной трудовой деятельности молодых преподавателей со стороны более опытных коллег;

- научное (академическое) – осуществляется в сфере научно-исследовательской деятельности, например, в процессе руководства подготовкой и написанием научных, конкурсных, проектных работ;

- патриотическое – состоит в формировании чувств идентичности и развития, чувств принадлежности к университету, к стране, общенациональным целям развития;

- воспитательное – его задачами становится передача духовно-нравственных ценностей, принятых в обществе, морально-этических норм и правил, развитие уважения и понимания институтов семьи и государства, всестороннее развитие современного мировоззрения личности;

– учебное – связанное непосредственно с задачами мотивации студентов в получении образования;

– проектное – в процессе реализации проектного обучения, целями которого становятся и решение конкретной проблемы, и развитие личности и команды.

В высшем образовании основными формами наставнической деятельности являются:

- «преподаватель–студент»;
- «преподаватель–преподаватель»;
- «студент–студент»;
- «работодатель–студент».

Ключевым методом наставника следует считать убывающую поддержку и сопровождение, что способствует выработке самостоятельности, самомотивированности наставляемого.

Вместе с тем, важное значение и особую роль в профессиональном становлении кадров в системе образования традиционно играет наставничество именно педагогических работников, которое рассматривается в качестве ориентированной на будущее, универсальной кадровой технологии, действенного инструмента профессионального роста педагогических работников.

В соответствии с пунктом 33 распоряжения Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2019 г. № 3273-р (ред. от 20 августа 2021 г.) «Об утверждении основных принципов национальной системы профессионального роста педагогических работников Российской Федерации, включая национальную систему учительского роста», а также в рамках реализации паспорта федерального проекта «Современная школа» национального проекта «Образование» созданы методические рекомендации по разработке и внедрению системы (целевой модели) наставничества педагогических работников в образовательных организациях, предназначенные для органов исполнительной власти, осуществляющих государственное управление в сфере образования.

Методические рекомендации помогают построить существующие на региональном и муниципальном уровне практики наставнической деятельности в образовательных организациях общего, среднего профессионального и дополнительного образования в единую федеральную систему научно-методического сопровождения педагогических работников и управленческих кадров с учетом региональной специфики и потребностей конкретных образовательных организаций, а также оказывают практическую помощь в нормотворческой деятельности. Кроме этого, система (целевая модель) наставничества позволяет скоординировать развитие практик наставничества в связи с внедрением новой квалификационной категории «педагог-наставник».

Методические рекомендации направлены в субъекты совместным письмом Министерства просвещения Российской Федерации и Общероссийского Профсоюза образования от 21 января 2021 г. № АЗ-1128/08.

Результаты исследования.

В ходе разработки модели был проведен многосторонний анализ и обобщение лучших региональных практик осуществления наставничества педагогических работников в образовательных организациях, а также разработан тезаурус по теме наставничества педагогических работников. В состав тезауруса вошло 114 терминов с определениями, в том числе закреплены понятия «наставничество», «наставник» и «наставляемый». В обсуждении тезауруса приняли участие представители профессорско-преподавательского состава из четырех региональных институтов повышения квалификации работников образования и педагоги школ, участвовавших в апробации.

Важнейшей особенностью системы наставничества является то, что она носит индивидуализированный и персонализированный характер, ориентирована на конкретного педагога и призвана решать в первую очередь его личностные, профессиональные и социальные затруднения. Наставничество в образовательных организациях имеет гибкую структуру, учитывает особенности преодоления дефицитов наставляемого, предлагает разную интенсивность решения тех или иных запросов (наставник и наставляемый самостоятельно решают, сколько времени потратить на изучение тех или иных вопросов, и какая глубина их проработки нужна).

В целевой модели учтены особенности реализации системы (целевой модели) наставничества педагогических работников для образовательных организаций общего, среднего профессионального и дополнительного образования, обусловленные различиями в организации процессов обучения и взаимодействия педагогов.

В 2022 г. в Российской Федерации началась работа по внедрению системы (целевой модели) наставничества педагогических работников в образовательных организациях общего, среднего профессионального и дополнительного образования.

Проведенный в 2022 г. мониторинг внедрения наставничества в педагогическую практику показал, что во всех 89 субъектах Российской Федерации система наставничества активно развивается в образовательных организациях общего, среднего профессионального и дополнительного профессионального образования, в том числе с применением современных цифровых инструментов.

В субъектах Российской Федерации разрабатываются меры стимулирования и поддержки педагогических работников, готовых осуществлять наставническую деятельность, формируются региональные модели, позволяющие в полной мере реализовать ресурсы наставничества.

К первичным эффектам внедрения наставничества педагогических работников в образовательных организациях субъектов Российской Федерации следует отнести:

– усиление взаимодействия между органами управления образованием, структурами, входящими в единую федеральную систему научно-методического сопровождения педагогических кадров и управленческих кадров, и образовательными организациями высшего и среднего профессионального образования, что свидетельствует о полноценном вовлечении управленческого и научно-методического ресурсов в формирование многоуровневой системы педагогического наставничества;

– усиление взаимодействия органов управления образованием, организаций дополнительного профессионального образования с региональными организациями профессиональных союзов работников образования, что позволяет профсоюзам принимать более активное и адресное участие в отстаивании профессиональных и социальных интересов работников образования;

– усиление внимания профессиональных сообществ в субъектах Российской Федерации к вопросам правового статуса педагога-наставника, популяризации позитивного образа и опыта педагога-наставника, превращения наставничества в особый вид педагогической деятельности, в широкое общественно-профессиональное движение;

– переход к цифровизации наставничества педагогических работников, который позволяет осуществлять наставничество независимо от места работы и жительства участников реализации наставнических программ, предоставляет новые возможности для широкого круга участников наставнической деятельности, в том числе быстрый обмен информацией, асинхронный режим взаимодействия, оперативную помощь, автоматизированный сбор данных и др.;

– постепенный отход от традиционных форм и видов наставничества педагогических работников и переход к перспективным форматам взаимодействия, который позволяет учитывать все нюансы индивидуальных запросов наставляемых и их наставников, а также внедрение перспективных видов наставничества: реверсивного, целеполагающего, ситуационного, виртуального, группового и др., – позволяющих превратить наставническую деятельность в массовое социально-профессиональное движение, затрагивающее не только молодых специалистов, но и педагогов старших возрастов, а также педагогов, имеющих любые профессиональные затруднения, возникающие в ситуации быстрой модернизации и цифровизации системы образования в Российской Федерации.

Успешности и эффективности внедрения модели наставничества будет способствовать консолидация усилий органов управления образованием, структур, входящих в единую федеральную систему научно-

методического сопровождения педагогических работников и управленческих кадров, образовательных организаций высшего и среднего профессионального образования, то есть создание многоуровневой системы педагогического наставничества (профильные психолого-педагогические классы – педагогические колледжи – педагогические вузы – организации дополнительного профессионального образования) с учетом региональных особенностей и традиций.

Следует отметить, что наставничество в российском высшем образовании – многоаспектное явление, включающее в себя как традиционно образовательную, академическую (научную), профессиональную компоненту, так и нравственно-этическую (воспитательную), патриотическую составляющие.

В контексте анализа популярности применяемых форм наставничества в сфере высшего образования можно отметить, что недостаточно распространенным и развитым является профессиональное наставничество студентов и молодых специалистов. При этом вопрос синергии взаимодействия бизнеса, науки и образования остаётся актуальным.

Таким образом, сопровождение выпускника на пути к его профессиональному становлению должно стать одной из генеральных задач вузов. В условиях имеющихся проблем несоответствия качества профессионального образования требованиям бизнеса наблюдается постепенное нарастание дефицита квалифицированных кадров, способных работать в высокотехнологичных, промышленных секторах экономики и сферы услуг.

Внедрение наставнической деятельности в систему высшего образования позволило получить ряд значимых результатов:

1. Передача практических знаний и опыта.

Наставники, основываясь на своем опыте работы, передают студентам такие навыки и знания, которые не всегда могут быть получены в стенах университета, что позволяет студентам глубже знакомиться с реальными вызовами своей профессиональной области.

2. Развитие профессиональных компетенций.

Взаимодействие с наставниками позволяет студентам развивать конкретные навыки, необходимые для успешной работы в будущем. Наставничество дает возможность студентам применять полученные знания на практике и учиться, впитывая опыт успешных профессионалов.

3. Установление связей и расширение сети контактов.

Взаимодействие с наставниками предоставляет студентам возможность устанавливать полезные связи в профессиональной среде, ценность которых окажется полезной в будущем при поиске работы или развитии карьеры.

Минобрнауки России также совместно с фондом «Сколково» было проведено исследование практик наставничества в вузах Российской Федерации. В исследовании приняло участие 547 вузов, из которых 213 подведомственны Минобрнауки России. По результатам проведенного исследования сделаны следующие выводы:

- из 403 вузов, реализующих практики наставничества, только в 224 есть локальный нормативный акт, регламентирующий практики наставничества;

- основными сферами реализации практик наставничества явились адаптация студентов младших курсов (339 вузов), адаптация иностранных студентов (274 вузов), поддержка студентов в научной деятельности (246 вузов);

- целевые аудитории, вовлеченные в наставническое взаимодействие в позиции наставника: опытные преподаватели (280 вузов), студенты бакалавриата старших курсов (278 вузов), молодые преподаватели (210 вузов);

- наиболее популярной формой реализации форм наставничества является групповая форма (203 вуза), когда индивидуальная форма наставничества реализуется лишь в 121 вузах;

- проектное наставничество наименее актуально, его развивают 48 вузов;

- самой часто применяемой формой подготовки наставников является организация отдельных семинаров и мастер-классов (311 вузов);

- консультации применяются в 299 вузах;

- использование учебно-методических материалов актуально в 145 вузах;

- наименее популярными в рамках наставнических форм взаимодействия оказались программы повышения квалификации (97 вузов), онлайн-курсы (62), другое (49).

Выводы

В целом, внедрение наставнической деятельности в систему высшего образования, в том числе в междисциплинарной предметной области «Экологическая безопасность», сопряжено с рядом проблем [1-5]:

- недостаточный уровень профессионального наставничества студентов, обусловленный вызовами рынка труда;

- необходимость дополнительных ресурсов в силу того, что создание и поддержка эффективной системы наставничества вуза требует дополнительных ресурсов, включая время и усилия наставников, и финансовые затраты на организацию их обучения;

- нечеткость общей стратегии функционирования механизмов наставничества на различных ступенях становления человека как личности и как профессионального работника;

- недостаточный уровень методического, инфраструктурного и институционального сопровождения наставнической деятельности;
- проблемы подбор квалифицированных наставников, которые должны обладать не только профессиональными навыками, но и высокими нравственными качествами, способными вдохновить и мотивировать студентов к личностному и профессиональному росту;
- нехватка времени представителей профессорско-преподавательского состава;
- неэффективный механизм стимулирования профессорско-преподавательского состава;
- отсутствие заинтересованности преподавателей как в факторе карьерного роста и повышения статуса;
- отсутствие единой и общепринятой научно обоснованной концепции наставничества;
- недостаток соответствующих информационных ресурсов и учебно-методического сопровождения;
- разработка и управление эффективной системой наставничества требует четкой организации и координации, что предполагает определение целей и задач, создание долгосрочных планов и мониторинг результатов, в совокупности требующее внедрение соответствующей системы управления и адекватных механизмов оценки.

К перспективам развития наставнической деятельности в высшем образовании следует отнести:

- обеспечение системного характера наставничества, реализуемого на всех этапах становления будущего специалиста;
- выработка единого научно обоснованного концептуального подхода к наставничеству;
- ориентация на профессиональное наставничество обучающихся, отвечающее национальным целям и региональным требованиям на рынке труда;
- поддержка академического наставничества для обеспечения интеграции науки, бизнеса и образования;
- совершенствование патриотического, воспитательного наставничества как необходимого элемента развития профессионала, гражданина и личности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гаврилов Е.В.* Проблемы обеспечения экологической безопасности на территории муниципального образования / Е.В. Гаврилов, В.М. Исаков, Э.С. Цховребов // ЭКОСинформ. 2005. № 1. С. 17.

2. *Олтян И.Ю.* О подготовке и аттестации кадров высшей квалификации в области гражданской обороны и безопасности в чрезвычайных ситуациях в МЧС России / И.Ю. Олтян, Е.В. Арефьева, В.Н. Григорьев // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19, № 5. С. 98-105.
3. Современные методы обучения руководителей и специалистов в области экологической безопасности и охраны окружающей среды / Э.С. Цховребов, В.М. Мирошниченко, В.В. Куценко, С.Н. Сидоренко, Э.С. Цховребов // Вестник РУДН. 2013. № 2 С. 105-111.
4. *Цховребов Э.С.* Правовые аспекты обеспечения экологической безопасности // ЭКОС. 2006. № 3. С. 13-19.
5. *Олтян И.Ю.* Развитие системы экологического образования, повышения квалификации кадров в области обеспечения экологической безопасности, предупреждения чрезвычайных ситуаций / И.Ю. Олтян, Э.С. Цховребов // Актуальные вопросы естествознания: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2023. С. 384-389.

СЕКЦИЯ «ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ»

УДК 51-74

МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИКИ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Ж.С. Соколова, А.Н. Жаров

Научный руководитель – **А.Н. Жаров**, д-р физ.-мат. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Изучаются основные сведения о математиках и математике в годы Великой Отечественной войне, а также рассматриваются научные труды и разработки математиков в победу русского народа.

***Ключевые слова:** артиллерия, криптография, аксиоматическая теория вероятностей, таблицы непотопляемости*

MATHEMATICS AND MATHEMATICIANS DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR

Z.S. Sokolova, A.N. Zharov

Scientific Supervisor - **A.N. Zharov**, Doctor of Physical
and Mathematical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The basic information about mathematicians and mathematics in the years of the Great Patriotic War is studied, also scientific works and developments of mathematicians in the victory of the Russian people are considered.

***Keywords:** artillery, cryptography, axiomatic probability theory, unsinkability tables*

В годы Великой Отечественной войны математика играла очень важную роль. Многие математики – ученые использовали свои знания для решения различных военно-технических задач. Например, математики разрабатывали методы шифрования и дешифрования сообщений, разрабатывали математические модели для прогнозирования траекторий

ракет и многих других задач. Математики также принимали участие в разработке боевых стратегий, тактических решений и военных технологий [1-5].

Эффективность стрельбы. Математические знания были нужны и непосредственно в бою. Известно, что такой род войск – артиллерия без расчетов не мог бы существовать. На фронте были и специальные расчетные части. Для повышения эффективности стрельбы артиллерии были разработаны специальные математические методы и формулы. Например, для расчета угла наводки и дальности стрельбы учёные использовали тригонометрию.

Шифрование сообщений. Математики участвовали в создании криптографических систем и шифровании секретной информации. Они разрабатывали математические методы для защиты важных сообщений от перехвата вражеской разведкой, обеспечивая безопасность коммуникаций на фронте. Математика играет ключевую роль в шифровании сообщений, обеспечивая защиту конфиденциальности информации. Одним из наиболее распространенных методов шифрования, основанных на математике, является криптография с открытым ключом (Public Key Cryptography). Другим распространенным методом шифрования на основе математики является шифр Цезаря, в котором каждая буква в сообщении заменяется на другую букву с определенным сдвигом в алфавите.

Статистика и анализ данных. Проводились статистические исследования по различным аспектам военной деятельности, таким как потери, эффективность боевых действий, логистика и другие. Анализ данных помогал командованию принимать обоснованные решения на основе объективных фактов.

Инженерные расчёты. Математики занимались разработкой инженерных проектов, проводили расчёты для строительства оборонительных сооружений, мостов, дорог, полевых лагерей и других объектов. Математические методы использовались для оптимизации процессов строительства и повышения эффективности инженерных работ. Некоторые из основных математических концепций, которые используются в инженерных расчетах, включают в себя:

- дифференциальное интегральное исчисление, которое описывает изменения величин с течением времени и позволяет моделировать различные физические процессы;

- линейную алгебру, которая используется для работы с матрицами и векторами и широко применяются в решении систем линейных уравнений и анализе пространственных конструкций;

- теорию вероятностей и статистику, которые помогают в анализе случайных явлений, оценке рисков и принятии решений на основе статистических данных;

- дискретную математику, применяющуюся в анализе дискретных объектов и структур, таких как графы и комбинаторика.

Во время Великой Отечественной Войны многие выдающиеся математики внесли свой вклад в победу над фашистскими захватчиками. Некоторые из них работали в области криптографии и шифрования, помогая разгадывать коды вражеских сообщений. Другие занимались разработкой математических моделей для прогнозирования погоды, размещения войск и оптимизации стратегий ведения боевых действий. Среди известных математиков, которые участвовали в Великой Отечественной Войне, можно назвать Андрея Колмогорова, Льва Понтрягина, Сергея Лебедева и других [1]. Они применяли свои знания и навыки не только для решения научных задач, но и для поддержания обороноспособности страны.

В годы Великой Отечественной Войны математика также продолжала развиваться, несмотря на тяжелые условия и ограничения. Некоторые выдающиеся математические открытия были сделаны в этот период. Например, важное открытие в области теории вероятностей было сделано Андреем Колмогоровым, который разработал аксиоматическую теорию вероятностей и основал современную вероятностную математику.

Кроме того, в годы войны были сделаны открытия в области дифференциальных уравнений, математической логики, теории игр и других математических дисциплин. Например, Лев Понтрягин внес вклад в теорию оптимального управления, а Сергей Лебедев работал над разработкой численных методов для решения дифференциальных уравнений [3]. Профессор С.В. Бахвалов, известный геометр, разработал теорию управления артиллерийским огнем. Н.Е. Кочин, академик мехмата МГУ, дал практическое решение задачи по теории полетов самолетов на малой высоте. Они выполнили исследования, имеющие непосредственное отношение к первым образцам пороховых ракет, получивших название «кастюш».

Видная роль в деле обороны нашей Родины принадлежит выдающемуся математику академику А.Н Крылову. Он создал таблицы непотопляемости, в которых было рассчитано, как повлияет на корабль затопление тех или иных отсеков, какие номера отсеков нужно затопить, чтобы ликвидировать крен.

Лаврентьев Михаил Алексеевич - математик и механик, академик и вице-президент АН СССР, Герой Социалистического Труда за разработку теории кумулятивного взрыва был удостоен Сталинской премии (1949), а в конце войны занимался расчётами водородной бомбы [4].

Большое значение получили теории двух явлений – штопора и шимми (особые вибрации самолета, приводившие к его разрушению).

Теорию этих явлений создал М.В. Келдыш (президент Академии наук СССР).

В результате практика полетов получила надежное средство для борьбы с шимми и штопором и за все время войны практически не было в нашей авиации гибели самолетов и летчиков по этим причинам.

В апреле 1942 г. коллектив математиков под руководством академика С.Н. Бернштейна разработал и вычислил таблицы для определения местонахождения судна по радиопеленгам. Таблицы ускоряли штурманские расчеты примерно в 10 раз.

Таким образом, математики во время Великой Отечественной Войны сыграли важную роль в защите родины и победе над врагом. Их вклад в победу остается неоценимым и заслуживает признания и уважения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Колмогоров А.Н.* Математика в ее историческом развитии. М.: Изд-во «Наука», 1991. С. 160-161
2. *Визгин В.П.* Взаимодействие физиков и математиков в советском атомном проекте (1940-1950-е гг.). 2011. Вып. 14 (49). С. 53-76. URL: https://elib.biblioatom.ru/text/vizgin_vzaimodeystvie-fizikov-i-matematikov_2011/p53/
3. *Понтрягин Л.С.* Жизнеописание Л.С. Понтрягина, математика, составленное им самим. Рождения 1908 г., Москва. М.: Прима В, 1998. 340 с.
4. Лаврентьев Михаил Алексеевич. Большая советская энциклопедия. 1-е изд. 1937. С. 635.
5. *Помогайбо А.А.* Тайны великих открытий. М.: Вече, 2012. 73 с.

СЕКЦИЯ «ДОРОЖНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА И ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ»

УДК 625.068.2

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛИНГА В РФ

А.С. Борисов, Н.С. Кучинов, Е.С. Буданова

Научный руководитель – **Е.С. Буданова**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается применение технологии холодного ресайклинга. Преимущества технологии холодной регенерации перед традиционными методами ремонта автомобильных дорог. Проанализированы проблемы холодного ресайклинга, снижающие эффективность применения технологии в РФ. Изучены основные документы, регламентирующие требования к производству работ по холодному ресайклингу.

Ключевые слова: автомобильные дороги, холодный ресайклинг, дорожная одежда, нормативные документы, органоминеральные смеси, климат, гранулометрический состав

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF APPLYING COLD RECYCLING TECHNOLOGY IN THE RUSSIAN FEDERATION

A.S. Borisov, N.S. Kuchinov, E.S. Budanova

Scientific Supervisor – **E.S. Budanova**, Teacher

Yaroslavl State Technical University

The application of cold recycling technology is considered. Advantages of cold recycling technology over traditional methods of highway repair. The problems of cold recycling that reduce the efficiency of the technology application in the Russian Federation are analyzed. The main documents regulating the requirements for the production of works on cold recycling are studied.

Keywords: roads, cold recycling, road pavement, normative documents, organomineral mixtures, climate, granulometric composition

В структуре пассажиро- и грузооборота страны ведущая роль принадлежит автомобильному транспорту. Для осуществления быстрых, экономичных и безопасных перевозок автомобильным транспортом требуются пути сообщения – автомобильные дороги – с высокими транспортно-эксплуатационными показателями. Общая протяжённость дорожной сети в России составляет 1 577 244,725 км [1]. Темпы строительства новых участков автодорог невелики и в условиях роста уровня автомобилизации существующая дорожная сеть испытывает возрастающие нагрузки. В подобных условиях требуются новые подходы к уровню ремонта и содержания автодорог, направленные на поддержание существующей сети в нормативном состоянии на протяжении всего требуемого срока службы. Метод холодного ресайклинга является одним из вариантов решения данной проблемы.

Применение холодной регенерации для восстановления дорожной одежды показывает высокую эффективность в России и за рубежом, в том числе на высокозагруженных участках автомобильных дорог [2, 3].

В России применение холодного ресайклинга берет начало с 1997 года [4]. Колоссальный вклад в развитие технологии внес Г.С. Бахрах, под чьим руководством был впервые разработан нормативный документ ОС-568-р «Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации», регламентирующий основные требования к производству работ по холодному ресайклингу.

Холодный ресайклинг методом «на месте» имеет ряд преимуществ перед традиционными методами ремонта дорожных одежд:

- экономия энергозатрат;
- отсутствие дополнительных транспортировок;
- экологичность, за счет отсутствия необходимости утилизации материалов от разборки, а также разработки новых месторождений строительных материалов;
- возможность создания однородных, плотных конструктивных слоев дорожной одежды и т.д.

При большом числе преимуществ у холодного ресайклинга в РФ есть ряд недостатков, которые носят по большей части «нормативный характер». Работы по холодной регенерации в России возможно выполнять в соответствии с требованиями следующих документов:

1) ОДМ 218.6.1.005-2021 «Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог методом холодной регенерации».

2) СТО 03441578-0005-2016 «Смеси асфальтогранулобетонные и асфальтогранулобетон для автомобильных дорог».

3) ГОСТ Р 70197.1(2,3)–2022 «Смеси органоминеральные холодные с использованием вторичного асфальтобетона».

4) ГОСТ 30491-2012 «Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства».

5) СТО НОСТРОЙ 2.25.159-2014 «Холодная регенерация конструктивных слоев для устройства оснований дорожных одежд».

6) СТО НОСТРОЙ 2.25.35-2011 «Устройство оснований дорожных одежд. Часть 7. Строительство оснований с использованием асфальтобетонного гранулята».

7) ПНСТ 322-2019 «Грунты стабилизированные и укрепленные неорганическими вяжущими».

8) СТО 03441578-0005-2016 «Смеси асфальтогранулобетонные и асфальтогранулобетон для автомобильных дорог» по основным требованиям и показателям ссылается на ОС-568-р 2002.

Анализируя вышеперечисленные документы, следует отметить, что для производства работ по технологии холодного ресайклинга, при всем многообразии действующих стандартов и рекомендаций, отсутствует единая система требований. Нормативные документы по многим показателям содержат сходные требования, копируя друг друга, а в некоторых случаях встречаются и противоречия.

Одним из основных показателей эффективности технологии является создание прочных конструктивных слоев, за характеристики материалов которых отвечает оптимальный гранулометрический состав [статья гра] и грамотный выбор вяжущего вещества.

В части выбора вяжущих материалов нормативные документы рекомендуют применение:

- битумных эмульсий в количестве от 2 до 4% сверх 100% минеральной части (в пересчете на битумное вяжущее, что некоторые подрядные организации не учитывают при производстве работ);

- портландцемента в количестве от 2 до 4% сверх 100% минеральной части

- вспененного битума – от 2 до 4% сверх 100% минеральной части

- извести и/или золы-уноса – от 1,5 до 5% сверх 100% минеральной части.

При этом нет указаний, в каких случаях наиболее эффективно применение органических вяжущих, в каких случаях предпочтителен портландцемент, а где требуется внесение комплексного вяжущего.

Уплотнение слоев рекомендуется производить независимо от типа смеси легкими и средними катками до окончания процесса уплотнения, которое следует оценивать по отсутствию следа после прохода вальца катка.

Требования к зерновому составу регенерированных смесей практически нереализуемы методом «на месте», ввиду необходимости в значительном количестве мелких фракций, которые во фрезерованном асфальтобетонном материале практически отсутствуют, что существующие нормы не учитывают.

При проектировании дорожных одежд большое влияние оказывают воздействия климатических факторов, которые на обширной территории Российской Федерации весьма разнообразны. Регенерированные слои являются конструктивным элементом дорожной одежды, и в свою очередь, должны учитывать природно-климатические условия эксплуатации, что современные нормативные документы не учитывают и приводят к шаблонному применению технологии, снижающему ее эффективность (рис. 1).



Рис. 1. Результат «шаблонного» применения технологии [5]

Для повышения эффективности холодного ресайклинга в России следует совершенствовать нормативную базу. Учет региональных природно-климатических условий, состояния существующей дорожной одежды, грамотный подбор вяжущих компонентов, а также корректировка зерновой части регенерированных материалов является обязательным условием для эффективного применения технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система контроля дорожных фондов. URL: <https://xn--d1aluo.xn--p1ai/>
2. *Andrea Carolina Castro Padilla*. Analysis of hot and cold recycling methods applied to asphalt concrete, for use in the rolling folder on tertiary roads between the years 2011-2017 in Colombia, Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Cooperativa de Colombia. Santa Marta. 2019.
3. *Исмаилов А.М.* Восстановление дороги технологией холодного ресайклинга на объектах транспортной инфраструктуры Краснодарского края / А.М. Исмаилов, С.В. Алексеев, А.А. Трифонова // Материалы всероссийской конференции. В 3 ч. Ч. 2. Санкт-Петербург: Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, 2021. С. 317-319.
4. *Филатов, С.Ф.* Восстановление асфальтобетонных покрытий методом холодного ресайклинга: Учебное пособие. Омск: Изд-во СибАДИ, 2009. 72 с.
5. Ярославль: сайт. URL: <https://76.ru/text/transport/2021/06/08/69957740/>

МЕТОДЫ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛИНГА В РФ И ЗА РУБЕЖОМ

Н.С. Кучинов, А.С. Борисов, Е.С. Буданова

Научный руководитель – **Е.С. Буданова**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

В условиях повышенных требований к срокам службы дорожных одежд необходим поиск новых методов их восстановления. Холодный ресайклинг является перспективным, развивающимся способом ремонта асфальтобетонных покрытий и неукрепленных оснований автомобильных дорог. В России применение технологии холодного ресайклинга имеют свои особенности, связанные с особенностями производства ремонтных работ и воздействия различных климатических факторов.

Ключевые слова: автомобильные дороги, холодный ресайклинг, ремонт, дорожная одежда, асфальтобетонное покрытие

COLD RECYCLING METHODS IN RUSSIA AND OTHER COUNTRIES

N.S. Kuchinov, A.S. Borisov, E.S. Budanova

Scientific Supervisor – **E.S. Budanova**, Teacher

Yaroslavl State Technical University

In the conditions of increased requirements to the service life of road pavements it is necessary to search for new methods of their rehabilitation. Cold recycling is a promising, developing method of repair of asphalt concrete pavements and unreinforced bases of highways. In Russia the application of cold recycling technology has its own peculiarities associated with the peculiarities of repair works and the impact of various climatic factors.

Keywords: roads, cold recycling, repair, road pavement, asphalt concrete pavement

Автомобильные дороги играют важнейшую роль в экономическом развитии регионов страны.

В процессе эксплуатации автомобильные дороги испытывают постоянное воздействие динамических нагрузок от транспортного потока в

условиях сезонного изменения климата. При накоплении напряжений в конструктивных слоях дорожных одежд, а также при превышении расчётных нагрузок, происходит резкое снижение транспортно-эксплуатационных показателей дороги, что напрямую влияет снижение скорости движения транспорта и увеличению эксплуатационных затрат.

В соответствии с постановлением Правительства РФ № 658 от 30 мая 2017 г. нормативные межремонтные сроки по капитальному ремонту в РФ увеличились до 24 лет. В таких условиях перед дорожной отраслью встает вопрос не только о строительстве дорог с условием повышения исходной прочности, но и проведение ремонтов существующей дорожной сети с учетом усиления конструктивных слоев дорожной одежды для обеспечения заданного уровня надежности [1].

В качестве альтернативного метода ремонта автомобильных дорог положительно зарекомендовала себя технология холодного ресайклинга.

Холодный ресайклинг – метод повторной переработки материала асфальтобетонных покрытий и оснований холодным способом, заключающийся в его измельчении, введении, при необходимости, различных вяжущих, воды и других добавок, перемешивании всех компонентов, распределении смеси и ее уплотнении [2].

Холодную регенерацию дорожной одежды можно классифицировать следующим образом:

1) В зависимости от применяемого оборудования:

- «На месте» с использованием передвижных мобильных комплексов (рис. 1);



Рис. 1. Ресайклер-стабилизёр для холодной регенерации [3]

- «На заводе» при производстве смесей на стационарных заводах и в смесительных установках (рис. 2);



Рис. 2. Мобильная смесительная установка КМА-240i [3]

2) В зависимости от вида применяемого вяжущего в регенерированных слоях:

- неорганические вяжущие (преимущественно портландцемент);
- органические вяжущие (битумные вяжущие);
- комбинация органических и неорганических вяжущих (комплексное вяжущее);

3) В зависимости от глубины регенерации:

- регенерация на глубину пакета асфальтобетонных слоев;
- регенерация с захватом слоя основания;
- регенерация слоя основания с предварительным холодным фрезерованием слоев асфальтобетонных покрытий.

Впервые технология холодного ресайклинга была применена в 1970-х годах в США с целью повторной переработки асфальтобетонного лома. Для восстановления вяжущих свойств состарившегося битума применялся «восстановитель» в виде катионной эмульсии нефтяных масел [4]. Холодный ресайклинг решал сразу две проблемы: уменьшение количества строительного мусора и экономия инертных дорожно-строительных материалов при уменьшении энергозатрат.

Способ холодной регенерации развивался двумя путями: развитие техники и оборудование, а также расширение номенклатуры применяемых вяжущих и улучшающих добавок с целью повышения физико-механических свойств регенерированных слоев.

Впервые холодный ресайклинг с применением цемента был реализован в 1986 году во Франции компанией Veugnet, данный способ получил название «Факир», и далее на опыте Франции появился метод «Флексосим» – регенерация с комбинацией двух видов вяжущих [4].

Применение цемента при холодном ресайклинге позволяет повысить прочностные показатели материалов с последующим повышением

общей прочности дорожной одежды, что в условиях интенсивных нагрузок становится весьма актуальным.

В России наиболее предпочтительным методом холодного ресайклинга является метод «на месте» с применением самоходных ресайклеров (рис. 3).



Рис. 3. Холодный ресайклинг участка автомобильной дороги «Говырино-Нагорье» в Ярославской области.

Помимо применения метода «На месте» в России большое распространение получил способ регенерации дорожной одежды с захватом неукрепленной части основания, а также холодный ресайклинг с предварительным холодным фрезерованием покрытия для восстановления несущих слоев оснований. Как показывает практика, восстановление свойств асфальтобетонных покрытий холодным способом – низкоэффективное мероприятие, по причине особенностей старения битумного, вяжущего с потерей адгезионных свойств. Для создания покрытия в условиях повышенной влажности, что весьма актуально для территории центральной части России, требуется создание плотных и высокоплотных материалов, что крайне сложно добиться с применением холодного способа переработки асфальтобетона. Восстановление основания – одна из основных целей применения холодного ресайклинга на территории Ярославской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства РФ от 30 мая 2017 г. № 658 «О нормативах финансовых затрат и Правилах расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения».
2. ОДМ 218.6.1.005-2021. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог методом холодной регенерации. ФДА Росавтодор. Москва. 2021. 54 с.
3. WIRTGEN GROUP. URL: <https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-de/wirtgen/recyclers-and-soil-stabilizers-65-c/>
4. *Филатов С.Ф.* Восстановление асфальтобетонных покрытий методом холодного ресайклинга: Учебное пособие. Омск: Изд-во СибАДИ, 2009. 72 с.

ОСОБЕННОСТИ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ

**А.Д. Магазинюк¹, Д.Н. Герасимова², Р.В. Разяпов²,
Е.С. Буданова¹**

Научный руководитель – **Е.С. Буданова**, ст. преподаватель

¹Ярославский государственный технический университет,

²Уфимский государственный нефтяной технический университет

Рассмотрена характеристика дорожно-климатического районирования территории РФ с учетом Арктической зоны. Природные условия оказывают колоссальное влияние на проектные инженерные решения, которые в условиях распространения вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтов являются диктующими. Изучена климатическая характеристика зоны распространения вечномерзлых грунтов, и влияние ее на основные проблемы возведения и обеспечения устойчивости земляного полотна автомобильных дорог.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожная одежда, земляное полотно, вечномерзлые грунты, строительство дорог, Арктика

FEATURES OF ROAD CONSTRUCTION IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

**A.D. Magazinyuk¹, D.N. Gerasimova², R.V. Razyapov²,
E.S. Budanova¹**

Scientific Supervisor – **E.S. Budanova**, Teacher

¹Yaroslavl State Technical University,

²Ufa State Petroleum Technical University

The characteristic of road-climatic zoning of the territory of the Russian Federation taking into account the Arctic zone is considered. Natural conditions have a colossal influence on design engineering solutions, which are dictating in conditions of the proliferation of permafrost and permafrost soils. The climatic characteristics of the zone of distribution of permafrost soils and its influence on the main problems of constructing and ensuring the stability of road subgrades have been studied.

Keywords: highway, road pavement, roadbed, permafrost, road construction, Arctic

Освоение территории Арктики является стратегической задачей Российской Федерации, в которой одним из приоритетных направлений является развитие транспортной инфраструктуры [1, 2].

Арктическая зона России граничит с Карским, Восточно-Сибирским, Лаптевым морями, а также Северным ледовитым океаном, охватывает девять регионов страны. Площадь арктической зоны – 4,8 млн км² (28% территории страны). Здесь проживает 2,6 млн человек, что составляет более половины населения мировой Арктики [3].

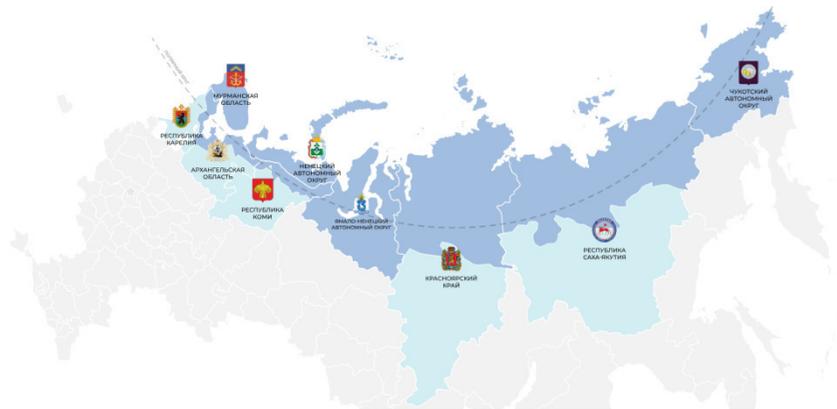


Рис. 1. Карта арктических регионов России

Огромные северные территории имеют очень слабую связь с опорной транспортной сетью страны, практически отсутствуют налаженные внутрирайонные коммуникации, что впоследствии является причиной транспортной изоляции многих северных регионов.

Строительство автомобильных дорог в зоне Арктики является крайне важной задачей, решение которой обеспечивает возможность добычи полезных ископаемых, миграции населения, освоении новых территорий, а также необходимость развития морских портов, расположенных на трассах Северного морского пути [4, 5].

Климат Арктической зоны характеризуется экстремально низкими температурами в зимний сезон, высокой влажностью, ветровой эрозией, а также распространением вечномёрзлых и слабых грунтов, что существенно затрудняет условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений, требуя применение инновационных строительных материалов и технологий [6].

При проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений в условиях распространения вечномёрзлых грунтов следует учитывать такие факторы:

- ограниченный строительный сезон (летний период длится от 2,5 до 4,5 месяцев);
- наличие обширных переувлажненных территорий, представленных в виде озер, болот и т.п.;
- наличие мерзлотно-геоморфологических образований в виде пучения, наледи, подземных льдов, солифлюкции, термокарстов и др.;
- повсеместное распространение глинистых и пылеватых грунтов, которые малопригодны для дорожного строительства.
- слабая заселенность территорий, вследствие чего возрастает стоимость рабочей силы [7-9].

Дорожно-климатическое районирование РФ включает пять зон. Территория Арктики занимает 1 дорожно-климатическую зону (ДКЗ-1), в которой выделяются три подзоны:

- I – 1 – Арктический район;
- I – 2 – Северный район;
- I – 3 – Южный район.

Каждая из подзон характеризуется особенностью климатических условий. Устойчивость автомобильных дорог в течение расчетного срока службы напрямую зависит от водно-теплового режима земляного полотна. При строительстве земляного полотна в условиях распространения вечномерзлых грунтов важно тщательно контролировать глубину и интенсивность оттаивания грунта основания автомобильной дороги. Сильное переувлажнение нижних слоев дорожных одежд приводит к потере несущей способности всей конструкции и влечет за собой необратимые деформации.

При возведении земляного полотна в ДКЗ-1 выбирают одну из схем:

1. Сохранение вечномерзлых грунтов в основании земляного полотна в течение всего периода эксплуатации дороги;
2. Частичное оттаивание мерзлых грунтов на величину обеспечивающую устойчивость земляного полотна с учетом допустимой осадки покрытия;
3. Оттаивание вечномерзлых грунтов до начала строительства дороги и осушение придорожной полосы [10].

В качестве эффективного метода увеличения прочности дорожных одежд в условиях ДКЗ-1 хорошо зарекомендовала себя технология стабилизации слабых грунтов, которая позволяет при минимальных затратах применять в качестве строительных материалов стабилизаторы:

- ионные закрепители глинистых грунтов;
- полимерные эмульсии;
- ферменты, биологические и наноструктурированные вещества.

Стабилизаторы грунтов характеризуются как многокомпонентные системы, которые имеют, преимущественно, кислую среду, обладают

свойствами поверхностно-активных веществ. В состав стабилизаторов, как правило, входят суперпластификаторы, гидрофобизаторы, сложные органические соединения, которые включают сложноэфирные группы и ионогенные комплексы [11].

В вопросах повышения устойчивости и долговечности дорожных конструкций в настоящее время ведутся многочисленные исследования [12-14]. В условиях неблагоприятного температурно-влажностного режима и распространения вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтов применение типовых решений при проектировании дорожных одежд крайне нежелательно. Неблагоприятному воздействию климатических факторов подвержены все конструктивные слои. С целью экономии средств и достижения высоких прочностных характеристик материалов следует отдавать предпочтение применению местных строительных материалов, улучшенных различными способами, а также применения современных теплоизоляционных слоев и геосинтетических материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия развития Арктики до 2035 года. URL: <https://strategy.arctic2035.ru/>
2. *Кондратов Н.А.* Особенности развития транспортной инфраструктуры в Арктической зоне России // Географический вестник. Экономическая, социальная и политическая география. Архангельск. 2017. № 4 (43). С. 68-80. DOI: 10/17072//2079-7877-2017-4-68-80.
3. Арктические регионы России. URL: <https://as.arctic-russia.ru/useful/>
4. *Преснов О.М.* Особенности строительства автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах / О.М. Преснов, Е.А. Киль, В.В. Овченков, А.Г. Филиппов // Инновации и инвестиции. 2022. №3. С. 171-173.
5. *Гурков Р.М.* Приоритетные задачи развития транспортного комплекса Северо-Запада на период до 2030 года // Транспорт Российской Федерации. 2007. №13. С. 4-11.
6. *Корчак Е.А.* Арктическая зона России: социальный портрет регионов. Апатиты: КНЦ РАН, 2017. 101 с.
7. *Боброва Т.В.* Прогнозирование эффективности дорожных конструкций на многолетнемерзлых грунтах / Т.В. Боброва, Е.А. Бедрин, А.А. Дубенков // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2011. № 4 (22). С. 11-16.
8. *Скрьельников И.Г.* Проектирование и эксплуатация земляного полотна автомобильных дорог в районах распространения многолетнемерзлых грунтов: с использованием теории: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2012. 167.
9. Особенности строительства и эксплуатации дорог в районах распространения вечной мерзлоты. URL: <https://lektsia.com/1x3a29.html>
10. СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85: дата введения 2013-07-01. Москва: Минрегион России, 2013. 112 с.

11. Применение модификаторов свойств грунтов и минеральных вяжущих для строительства грунтовых аэродромов в арктической зоне российской федерации. / А.В. Глухов, Е.В. Остапчук, В.В. Сарасеко, И.В. Треушков // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 3 (44). С. 80-88.
12. Патент № 70269 Российская Федерация, МПК E02D 17/18 (2006.01). Дорожная насыпь на вечномёрзлых грунтах: № 2006135761: заявл. 10.10.2006, опубл. 20.01.2008 / Пассек В. В., Цернант А. А., Цуканов Н. А., Дацковский А. Х., Герасимов В. А., Пассек В. В.; заявитель ООО ИЦ «Ямал». 5 с.
13. Патент № 2732774 Российская Федерация, МПК E01C 3/06 (2006.01). Автомобильная дорога на многолетнемёрзлых грунтах: № 2019135385: заявл. 05.11.2019, опубл. 22.09.2020 / Краев А. Н., Краев А. Н., Шанхоев З. Ш., Макаров А. С.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». 11 с.
14. Патент № 2160336 Российская Федерация, МПК E01C 3/06(2006.01). Земляное полотно на вечномёрзлом основании: № 99104110/03: заявл. 01.03.1999, опубл. 10.12.2000 / Жданова С.М.; заявитель Дальневосточный государственный университет путей сообщения. 8 с.

ОБЗОР ОСНОВНЫХ ДЕФЕКТОВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ II ДКЗ

И.А. Смирнов, Е.С. Буданова

Научный руководитель – **Е.С. Буданова**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрено природно-климатическое влияние на состояние автомобильных дорог. Проанализированы основные виды дефектов, характерных для южных и северных районов России. Уделено внимание вопросу трещинообразования асфальтобетонных покрытий в условиях избыточного увлажнения, связанное с процессами, протекающими в несущих слоях оснований дорожных одежд.

***Ключевые слова:** автомобильная дорога, дорожная одежда, земляное полотно, климатические условия, ремонт дорог, дорожно-климатическая зона*

OVERVIEW OF THE MAIN DEFECTS OF PAVEMENTS CHARACTERISTIC OF II CLIMATE ZONE OF RUSSIA

I.A. Smirnov, E.S. Budanova

Scientific Supervisor – **E.S. Budanova**, Teacher

Yaroslavl State Technical University

The natural and climatic influence on the condition of highways is considered. The main types of defects typical for southern and northern regions of Russia are analyzed. Attention is paid to the issue of cracking of asphalt concrete pavements in conditions of excessive moisture, associated with the processes occurring in the load-bearing layers of roadway bases.

***Keywords:** automobile road, road pavement, earth bed, climatic conditions, road repair, road-climatic zone*

Основным транспортно-эксплуатационным показателем состояния автомобильных дорог является ровность покрытия, обеспечивающая безопасное движение автотранспорта с расчетными скоростями. Нарушение ровности свидетельствует о развитии необратимых процессов в конструктивных слоях дорожных одежд, ведущих к преждевременному отказу конструкции. Состояние покрытия является отражением процессов, свя-

занных не только с монолитными асфальтобетонными слоями, но и с теми процессами, что развиваются в слоях оснований и земляном полотне.

В течение всего срока эксплуатации автомобильные дороги испытывают динамические воздействия транспортного потока в определенных природно-климатических условиях региона. Водно-тепловой режим земляного полотна и конструктивных слоев дорожных одежд в каждой отдельной дорожно-климатической зоне РФ имеет свои особенности, позволяющие прогнозировать образование наиболее вероятных видов дефектов на дорогах. Для южных районов России характерно частое появление пластических деформаций асфальтобетонных покрытий, связанных с интенсивной транспортной нагрузкой в условиях высоких температур теплого времени года (рис. 1).



Рис. 1. Колея на автомобильной дороге М4 «Дон» [1]

Для переувлажненных районов износ верхнего слоя покрытия часто связан с воздействием влаги [2]. Для повышения устойчивости покрытий совершенствуют методики проектирования асфальтобетонных смесей, различная модификация вяжущих, в том числе с применением полимеров [3].

В южных регионах страны водно-тепловой режим слоев земляного полотна и оснований дорожных одежд находится в оптимальном состоянии или близком к оптимальному на протяжении длительного периода календарного года. Грамотная рецептура асфальтобетонных смесей в совокупности с оптимальным состоянием подстилающих слоев оснований позволяют обеспечить заданную надежность и нормативные сроки службы всей конструкции.

Климатические условия эксплуатации автомобильных дорог заметно ухудшаются по мере продвижения с юга на север страны (рис. 2).

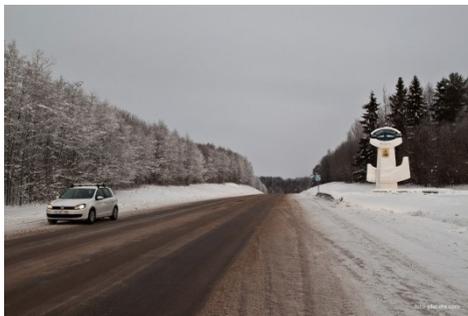


Рис. 9. Участок автомобильной дороги М8 «Холмогоры» в Архангельской области [4]

Интенсивное выпадение осадков, низкие среднегодовые температуры, высокая глубина промерзания, а также значительное число дней со знакопеременными температурами (в соответствии с СП 131.13330.2020 «Строительная климатология») создают трудные условия обеспечения нормативных сроков службы.

Для автомобильных дорог в переувлажненных регионах РФ наиболее характерно явление морозного пучения (рис. 3), а также образование колеи и другие дефекты покрытия, связанные с потерей прочности в слоях оснований.



Рис. 3. Пучинистый участок дороги Р-132 в Ярославской области

Распространенным дефектом покрытия на дорогах, в частности во II дорожно-климатической зоне, является образование продольных трещин, расположение которых часто совпадает с положением продольных технологических швов асфальтобетонного покрытия (рис.4).



Рис. 4. Участок дороги с продольной трещиной Ярославская область

Во время эксплуатации конструктивные слои дорожных одежд претерпевают качественные изменения, связанные с процессами разрушения неукрепленного каменного материала, кольматацией, взаимопроникновению слоев и т.д. Переувлажнение материалов с перепадами температур усиливают эти процессы, за счет миграции свободной, связанной, пленочной и парообразной воды.

Трещинообразованию на дорогах в условиях избыточного увлажнения следует уделять особое внимание [5], а также проводить ремонтно-восстановительные работы с учетом потери прочности несущих слоев оснований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ремонт трассы М4 «Дон». URL: https://rostov.tsargrad.tv/news/gotovtes-k-kollapsu-remont-trassy-m-4-don-v-rostovskoj-oblasti-privedjot-k-gigantskim-probkam_976329
2. Кудрявцев А.Н. Учет структурных разрушений неукрепленного каменного материала оснований при проектировании дорожных одежд: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2021. 213 с.
3. Ярмолинская Н.И. Модификация дорожных битумов полимерами для высококачественных дорожных покрытий северных регионов дальнего востока / Н.И. Ярмолинская, Т.Л. Лазарева // Международный сборник научных трудов. Хабаровск. 2016. №16. С. 135-140;
4. На трассе М8. URL: <https://foto-planeta.com/photo/436827.html>
5. Буданова Е.С. Холодный ресайклинг. Повышение эффективности использования на территории РФ / Е.С. Буданова, В.А. Ярмолинский // Умные композиты в строительстве. 2022. Т. 3, № 2. С. 54-67. DOI: 10.52957/27821919_2022_2_54. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v3n2_2022

ВВЕДЕНИЕ ЗОН ОГРАНИЧЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА: ПРИНЦИПЫ И ПРЕИМУЩЕСТВА

Д.В. Волков

Научный руководитель – **А.В. Маркелов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрены основные принципы и преимущества создания зон ограниченного движения транспорта, которые являются эффективным инструментом управления дорожным движением и способствуют снижению уровня загрязнения окружающей среды, повышению безопасности дорожного движения и улучшению качества жизни населения.

***Ключевые слова:** зона ограниченного движения, транспорт, безопасность, экология, управление*

INTRODUCTION OF RESTRICTED TRAFFIC ZONES: PRINCIPLES AND ADVANTAGES

D.V. Volkov

Scientific Supervisor – **A.V. Markelov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The basic principles and advantages of creating restricted traffic zones are considered, which are an effective tool for traffic management and help reduce environmental pollution, increase road safety and improve the quality of life of the population.

***Keywords:** restricted traffic zone, transport, safety, ecology, management*

В современном мире с ростом численности автомобилей и развития инфраструктуры города, вопрос о безопасности и эффективности движения становится все более актуальным. Общегосударственная система управления движением транспорта включает в себя множество подсистем и элементов, одним из которых являются зоны ограниченного движения транспорта. Зоны ограниченного движения транспорта (ЗОД) – это территории или участки дорог, на которых вводятся ограничения на

движение определенных видов транспортных средств. Основной целью создания таких зон является снижение уровня загрязнения окружающей среды, повышение безопасности дорожного движения и улучшение качества жизни населения.

Для того чтобы зона ограниченного движения была эффективной, необходимо соблюдать ряд принципов (рис.1).

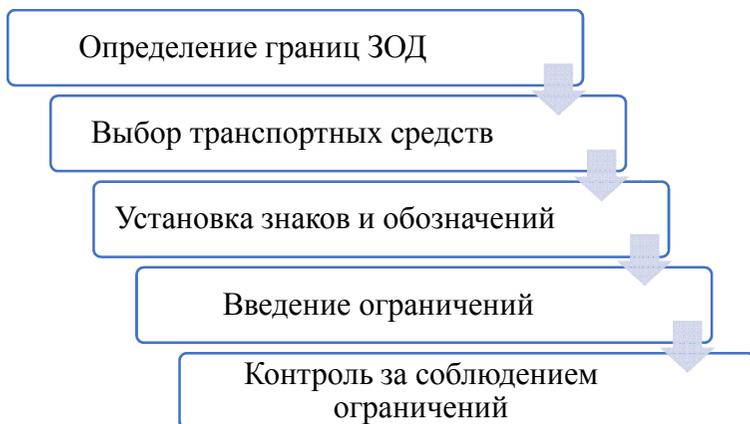


Рис. 1. Принципы введения зон ограниченного движения

Определение границ зон. Границы ЗОД устанавливаются с учетом плотности населения, наличия промышленных объектов, состояния окружающей среды и других факторов.

Выбор транспортных средств, на которые распространяются ограничения. В зависимости от целей и задач ЗОД, ограничения могут касаться грузовых автомобилей, автобусов, мотоциклов и т.д.

Установка знаков и обозначений. Для обозначения ЗОД используются специальные знаки, которые предупреждают водителей о въезде в зону и необходимости соблюдения определенных правил движения.

Введение ограничений на время действия ЗОД. Ограничения могут быть постоянными (например, запрет на въезд грузовиков в определенные районы города) или временными (ограничения на движение транспорта в определенные часы суток).

Контроль за соблюдением ограничений. Для контроля за соблюдением правил движения в ЗОД используются различные технические средства (камеры видеонаблюдения, автоматические радары и др.), а также работа сотрудников дорожной полиции.

Преимущества ведения зон ограниченного движения:

- Снижение выбросов вредных веществ в атмосферу и улучшение экологической обстановки.

Ограничения скорости автомобилей в районах с наиболее сложной экологической ситуацией способствует уменьшению объема вредных выбросов, поскольку в этом случае движение становится более стабильным без резких ускорений и замедлений. Например, объем выделяемой бензиновым двигателем окиси углерода при разгоне составляет 2,9%, на постоянной скорости - 2,7%, при торможении - 3,9%. Однако, только концентрация диоксида азота в атмосфере после введения меры по ограничению скорости может уменьшиться до 15% [1].

- Уменьшение шума от движущегося транспорта, что благоприятно сказывается на здоровье жителей близлежащих районов.

Примерно около 40 миллионов жителей России испытывают неудобства из-за высокого уровня шума, создаваемого транспортными средствами. Значительную роль в этой проблеме играет интенсивность дорожного движения – самые высокие уровни шумового загрязнения наблюдаются при интенсивности транспортного потока, превышающей 3 тысячи автомобилей в час [1]. Введение зон ограниченного движения за счёт снижения скорости влияет на уменьшение уровня шума: так как громкость звука автомобиля, который движется со скоростью 30 км/ч, на два-три децибела меньше, чем при 50 км/ч.

- Экономия времени и средств автовладельцев за счет уменьшения пробок и снижения затрат на топливо.

Зона ограничения движения позволит регулировать поток автомобилей, особенно в часы пик. Благодаря этому, автомобилисты смогут быстрее преодолевать расстояния, что снизит время на дорогу и повысит общую мобильность населения. За счет сокращения времени на дорогу автовладельцы смогут сэкономить на топливе и оплате парковки.

- Повышение безопасности дорожного движения благодаря снижению числа аварий и нарушений правил дорожного движения, вследствие ограничения скорости и контроля за движением автомобилей.

Показатели статистики дорожно-транспортных происшествий это подтверждают. Если автомобиль движется со скоростью 60 км/ч, то в 9 из 10 случаев такая авария заканчивается летальным исходом для пешехода. При скорости 50 км/ч, смерть наступает в 5 из 10 случаев, а при соблюдении ограничения скорости в 30 км/ч – только в 1 случае из 10 [3]. Более того, проведенные исследования показывают, что в среднем количество столкновений сокращается на 6% даже при незначительном снижении средней скорости всего на 1,6 км/ч. [1].

- Улучшение условий для пешеходов и велосипедистов за счет увеличения количества свободных парковочных мест и улучшения качества пешеходных зон.

Во многих странах Евросоюза есть разделение территорий на экологические районы, куда запрещён проезд для автомобилей с низким экоклассом: например, в Германии, Франции, Бельгии, Австрии, Дании и др. Такие зоны обычно находятся в местах с большим количеством транспорта и высоким уровнем вредных веществ, в основном - диоксида азота и сажи, границы этих зон обозначаются особыми знаками.

В России такие зоны есть в Москве, Санкт-Петербурге, Казани и некоторых других городах. Для обозначения зон ограниченного движения с 2018 г. используется ряд знаков, например, знаки: 5.35 «Зона с ограничением экологического класса механических транспортных средств» и 5.36 «Конец зоны с ограничением экологического класса механических транспортных средств» (рис. 2) [2].



Рис. 2. Знаки 5.35 и 5.36

Таким образом, введение зон ограниченного движения транспорта позволяет контролировать потоки движения, снижать уровень аварийности и улучшать экологическую ситуацию. Однако при введении таких зон необходимо учитывать интересы населения, чтобы не создать неприемлемые условия для тех, кто зависит от автомобильной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Министерство транспорта Российской Федерации: сайт. URL: <https://mintrans.gov.ru/> (дата обращения: 04.03.2024)
2. РБК: сайт. URL: <https://www.rbc.ru/society/01/07/2018/5b38647d9a794726958822fb> (дата обращения: 06.03.2024)

УСТРОЙСТВО СНЕГОПЛАВИЛЬНЫХ ПУНКТОВ: ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

А.С. Борисов, Н.А. Мирошников, Д.В. Герасимов

Научный руководитель – **Д.В. Герасимов**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматриваются снегоплавильные станции основные принципы работы, также их разновидности и внутреннее устройство, их история, преимущество и недостатки

***Ключевые слова:** снегоплавильная станция, населённые пункты, источники тепла*

THE DEVICE OF SNOW MELTING POINTS: THE MAIN TYPES AND PRINCIPLES OF OPERATION

A.S. Borisov, N.A. Miroshnikov, D.V. Gerasimov

Scientific Supervisor – **D.V. Gerasimov**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

The article discusses the basic principles of operation of snow melting stations, as well as their varieties and internal structure, their history, advantages and disadvantages.

***Keywords:** snow melting station, settlements, heat sources*

На большей части территории нашей страны в зимний период образуется устойчивый снежный покров, и для поддержания комфортных условий движения граждан по дорогам общего пользования его необходимо убирать. Особенно остро, возникает необходимость расчищать территорию населённых пунктов. Существуют строгие временные рамки по очистке дорог и улиц от снежного покрова они представлены в ГОСТ Р 59434-2021 «Дороги автомобильные общего пользования» требования к уровню зимнего содержания» [1].

Для городов присутствует проблема, куда же вывозить весь тот снег, что оказался на дорогах и пешеходных зонах. В пределах небольших населённых пунктов это проблема решается сбором снега и его вы-

возом на полигоны, для складирования и таяния в весенний период. Однако с экономической точки зрения перевозка снега нерентабельна. Более того, с точки зрения экологии, ПДК содержания химических и минеральных загрязняющих веществ значительно превышена, что выводит земли, отведенные под организацию полигонов хранения снега из хозяйственного оборота на продолжительный срок. Помимо этого, в крупных городах, сложность размещения полигонов хранения снега связана с большой кадастровой и рыночной стоимостью земельных участков.

Единственным рациональным способом утилизации снега является его плавление. Плавление снега осуществляется в специализированных технологических комплексах – снегоплавильных установках.

Снегоплавильные установки – это устройства для переработки снега и льда, с дальнейшим сбросом талой воды в канализацию. Применяются на территориях, где вывоз снега затруднён географически или не выгоден экономически [2].

В зависимости от устройства системы снеготаяния, сброс вод может осуществляться как с предварительной очисткой – что является приоритетным вариантом, так и без неё.

Сами станции подразделяются по устройству на два вида: стационарные и мобильные. Принцип работы заключается в перемалывании слежавшегося снега и льда на мелкие частицы и топка температурами.

Также станции классифицируются по способу получения тепловой энергии для плавки снега:

- тепловая энергия канализации;
- сбросные воды ТЭЦ;
- теплосеть (при наличии свободной энергии);
- сжигания топлива;
- электрические нагревательные элементы;
- естественное таяние без дополнительных источников тепла.

Снегоплавильные установки в первую очередь обязаны своим появлением тенденции урбанизации.

Ещё в прошлом веке стационарные и передвижные установки снеготаяния стали применяться на улицах Москвы. Чаще всего применялись на территориях усадеб зажиточных граждан, также устанавливались на территории предприятий. К 1925 году было завершено восстановление коммунального хозяйства города после гражданской войны, в это момент появилась острая нужда уборки и утилизации снега с улиц города.

В 1928 году вынесено постановление Президиума Московского Совета РК и КД от 6 марта 1928 года «Об устройстве и содержании снеготаялок в г. Москве», в котором предписывалось:

- Отдел благоустройства Московского коммунального хозяйства может выдавать разрешение на установку снегоплавильных станций.

- Станции устанавливались только на внутренних территориях дворов, предприятий и организаций города. Установка станции на проезжих частях и площадях, возможна только в особых случаях и при наличии разрешения администрации.

Спуск воды с установок в канализацию был запрошен, в связи с её перегрузкой и недостаточным развитием [2].

Наиболее рентабельны снегоплавильные установки, использующие пассивные тепловые ресурсы, которые являются не востребуемыми для рекуперации.

На рис. 1 представлена схема станции, работающей на энергии сточных вод, таяние снега осуществляется за счёт температуры сточных вод. В камеру с измельчённым снегом и льдом поступают сточные вода или проходят по змеевику в плавильной камере.

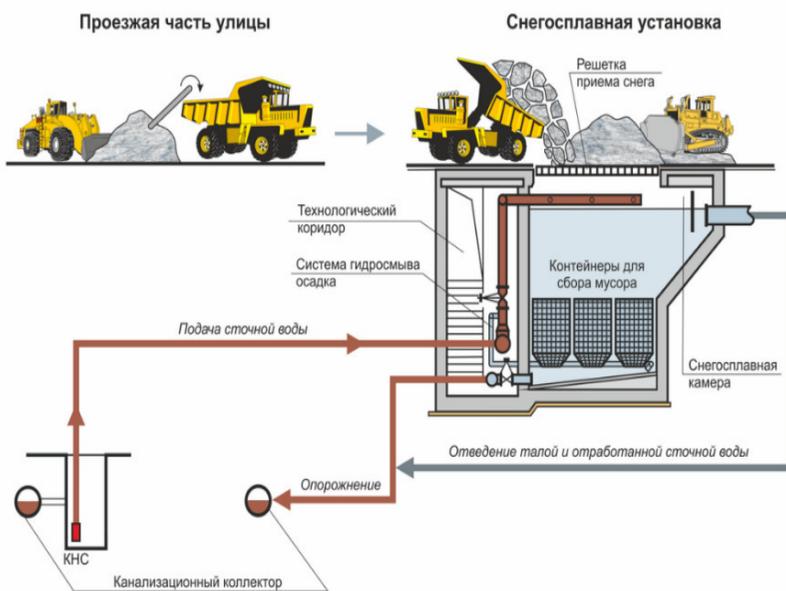


Рис. 1. Схема станции снегоплавильной на тепловой энергии сточных вод

Как устроен современный типовой снегоплавильный пункт и что входит в комплекс [3, 4]:

1. Устройство для дробления: набор шнеков, которые вращаются с заданной скоростью и измельчают крупные фрагменты. Приспособление работает по принципу бытовой мясорубки, управляется с помощью пульта;

2. Резервуар для таянья снега большого объема, может комплектоваться нагревательными элементами для ускорения процесса;
3. Фильтры грубой и тонкой очистки для удержания мелкого и крупного мусора, вмержшего в снеговую глыбу;
4. Улавливатели песка: дополнительные отстойники, в которых при фильтрации осаживаются мелкие фракции.

Установка станций в крупных городах позволит сэкономить средства муниципальных образований на зимнее содержание уличной дорожной сети. Рассредоточение станций снеготаяния по городу, позволит увеличить производительность коммунальных служб и увеличит скорость очистки дорог и улиц. Также снеготаяльные пункты частично решают вопрос мусора на дорогах и территориях, прилегающих к ним. Поскольку мусор вместе со снегом попадает в установки, где специальным приспособлением отсеивается.

Однако самой сложной задачей является решение вопросов размещения снеготаяльных установок в черте города. Решение данной задачи необходимо вести как с точки зрения теплотехники и экологии, так и с точки зрения логистики и финансовой рентабельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 59434-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню зимнего содержания. URL: https://gostassistant.ru/doc/bcb88a5a-9901-465d-93cf-bf5ae86217f9?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения 16.03.2024)
2. Википедия: сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Снеготаяльная_установка#cite_note-trecan-1 (дата обращения 14.03.2024)
3. Снеготаялки.рф: сайт. URL: <https://web.archive.org/web/20171006002247/http://xn--80affojfkkxo8l.xn--p1ai/kak-dodumalis/> (дата обращения 15.03.2024)
4. ООО «Русинвестстрой»: сайт. URL: <https://musor.moscow/blog/snegoplavilnyj-punkt/> (дата обращения 16.03.2024)

СТАЦИОНАРНЫЕ СНЕГОПЛАВИЛЬНЫЕ СТАНЦИИ ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ РАЗМЕЩЕНИЯ В ЧЕРТЕ ГОРОДА

Н.А. Мирошников

Научный руководитель – **Д.В. Герасимов**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматривается востребованность стационарных снегоплавильных станций в период зимнего содержания города. А также предлагается возможная схема их размещения.

Ключевые слова: *снегоплавильная станция, зимнее содержание автомобильных дорог, уборка снега*

STATIONARY SNOW MELTING STATIONS POSSIBLE ACCOMMODATION OPTIONS WITHIN THE CITY

N.A. Miroshnikov

Scientific Supervisor – **D.V. Gerasimov**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

The article considers the demand for stationary snow melting stations during the winter maintenance of the city. And also, a possible scheme of their placement is proposed.

Keywords: *Snow melting station, winter maintenance of highways, snow removal*

Ежегодно в период зимнего содержания вопрос вывоза снега стоит остро в любом городе. В прошлом году для решения данной проблемы была выделена территория за заводом «Техуглерод», находящимся по адресу – Ярославская область, г. Ярославль, улица Гагарина, дом 74А, – на полигон выгрузили около 98 тысяч кубометров осадков, ситуация по вывозу снега зимой 2024 года аналогична. «Данный снег аккумулирует в себе с дорожных покрытий нефтепродукты, тяжелые металлы, бытовые отходы, противогололедные материалы и т.д. (до 60 показателей). Сброс

данной массы без очистки и обеззараживания в отвал повлечет за собой загрязнение почвы, поверхностных и подземных водных источников» [1]. В табл. 1 сведена часть показателей с их предельно допустимой концентрацией (ПДК), которая наглядно показывает экологическую обстановку города.

Таблица 1. Показатели загрязнений в снеге с дорожных покрытий и значения ПДК при его утилизации [1]

Показатели загрязнений	Концентрации загрязнений, мг/л		
	в объеме снега	ПДК при сбросе	
	Среднее значение	в водоемы рыбхоз. назначения	в водоемы для хоз.-пит. и культ.-быт. назначения
Взвешенные вещества	974,3	7,25	Увеличение концентрации не более чем на 0,75
БПК полн.	3,5	3	6
ХПК	135,6	30	30
Азот аммонийный	1,58	0,5	2,57
Сухой остаток	–	–	1000
Нефтепродукты	23,8	0,05	0,3
Хлориды	1386,8	300	350
Железо общее	1,4	0,1	0,3
Медь	0,027	0,001	1
Цинк	0,09	0,01	1
Никель	0,003	0,01	0,02
Свинец	0,02	0,006	0,03
Кадмий	0,0004	0,005	0,001
Алюминий	0,04	0,04	0,5

Стационарные пункты позволят решить сразу несколько вопросов утилизации снега:

1. Логистическая составляющая вывоза снега, – сокращается расстояние транспортировки осадков до места их утилизации, – что, несомненно, сказывается на экономической части;

2. С точки зрения экологии, данная станция позволит установить очистные сооружения первичной обработки воды, а далее обеспечить её спуск в систему канализации любого типа.

Этой зимой в городе запустили только одну мобильную станцию в Ленинском районе, находящуюся по адресу Малая Пролетарская, которая не может решить всех проблем города.

На рис. 1 представлены возможные места размещения станций вблизи крупных промышленных предприятий с избыточным теплом, которое рассеивается в воздух, а также осуществляющие деятельность за счёт применения природного газа, который является одним из самых экономически рентабельных видов топливных ресурсов в России:

1) Ново-Ярославский НПЗ. Основная деятельность предприятия состоит в переработке нефтепродуктов, в ходе которой образуются внушительные объёмы сопутствующего газа, сжигаемые в атмосфере без активного использования тепловой энергии.

2) Норский керамический завод. Деятельность предприятия связана с производством строительных материалов (кирпича, блоков и т.д.), в процессе их изготовления от печей выделяется большое количество тепла, которое расходуется впустую.

3) Завод «ЭКО». Деятельность предприятия специализируется на производстве строительных материалов (газобетон, изделия из железобетона, силикатная продукция и т.д.), во время изготовления материалов и их сушки выделяется некоторое количества свободного тепла, которое рассеивается.

4) Ярославский моторный завод. Предприятие занимается производством двигателей, коробок передач (МКПП) и сцеплений. В процессе их создания в горячих цехах выделяется достаточное количество тепла, которое можно было бы использовать в процессе рекуперации.

5) Завод «Ярославль-Резинотехника». Основная деятельность предприятия – производство различного рода резиновых изделий. Поскольку производство связано с горячими цехами, в них в большом количестве вырабатывается тепло, которое никак не используется.

Представленная схема размещения станций позволит эффективнее и быстрее производить уборку снега на территории города. Данные пункты могут переплавлять от 4000 до 10000 куб. метров снега в сутки. Основное преимущество стационарных станций заключается в том, что отделение для плавления находится ниже уровня поверхности земли, и снег в него можно сгружать прямо из самосвалов, тем самым ускоряя темп работы. Дополнительно можно рассмотреть вопрос установки небольших пунктов с возможностью подключения к городским котельным. Но для более детального и корректного выбора места размещения необходимо провести мультикритериальный ГИС-анализ города, для выявления районов с наибольшим количеством скопления снега.

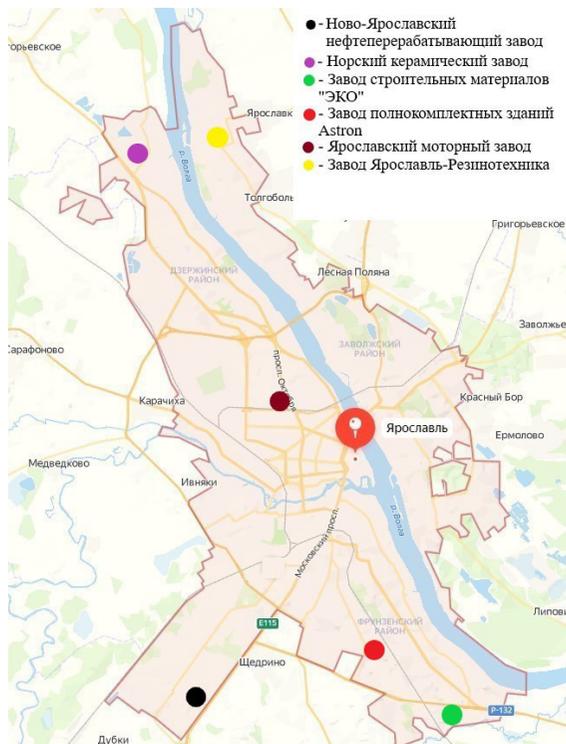


Рис. 1. Возможные места размещения снегоплавильных станций

Увеличение количества снегоплавильных станций поможет решить проблему с утилизацией снега, при этом сократив расходы городского бюджета на период зимнего содержания и улучшив экологическую обстановку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронов Ю.В.* Вопросы проектирования стационарных снегоплавильных пунктов / Ю.В. Воронов, Л.Г. Дерюшев, Н.Л. Дерюшева. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5499 (дата обращения 10.03.2024)
2. ООО "Горыныч". URL: <https://grnh.ru/snegoplavilnye-ustanovki/snegoplavilnye-punkty/> (дата обращения 09.03.2024)
3. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. URL: <https://pereplanirovka-online.ru/wp-content/uploads/2020/12/sp-32.13330.2018-kanalizaciya.-naruzhnye-seti-i-sooruzheniya.-snip-2.04.03-85-s-izmeneniem-n-1.pdf> (дата обращения 09.03.2024)

К ВОПРОСУ УСТРОЙСТВА ТРАМВАЙНЫХ ПУТЕЙ

Е.Д. Соколов, Д.В. Герасимов

Научный руководитель – **Д.В. Герасимов**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

В данной работе рассмотрены варианты конструкций трамвайного пути. Проведен анализ патентной базы и технической литературы, представленный в виде таблицы. Проанализированы преимущества и недостатки и выявлены наиболее эффективные технические решения.

Ключевые слова: трамвайный путь, балластное основание, безбалластное основание, конструкция, патент

TO THE QUESTION OF THE DEVISE OF TRAMWAY CONSTRUCTION

E.D. Sokolov, D.V. Gerasimov

Scientific Supervisor – **D.V. Gerasimov**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

In this article, variants of tramway designs are considered. The analysis of the patent database and technical literature is presented in the form of a table. The advantages and disadvantages are analyzed and the most effective technical solutions are identified.

Keywords: tramway, ballast base, ballast-free base, construction, patent

В связи со стремительным развитием транспортной системы городов для повышения пропускной способности городских улиц актуальной темой является разработка новых методов устройства рельсовых транспортных средств.

В настоящее время объективно существует необходимость в переосмыслении старых и разработке новых вариантов конструкций трамвайного пути, которые обеспечивали бы современные требования экономичности и шумозащиты.

Таким образом, целью настоящего исследования является анализ существующей патентной базы и технической литературы по рассматриваемому вопросу и разработка рекомендаций по перспективной конст-

рукции трамвайного пути с учетом преимуществ и недостатков рассмотренных вариантов.

Существующие конструкции трамвайных путей подразделяются на два основных типа и в корне отличаются видом заложеного основания:

1) Балластные системы трамвайных путей – устройство балластной подушки из инертных фракционированных каменных материалов (щебень, шлак) под рельсово-шпальной решеткой. Балластная призма является упругим типом оснований, гасящим импульсные ударные нагрузки, распределяя их по большому объёму балластной призмы и грунта основания или земляного полотна;

2) Безбалластные системы трамвайных путей – устройство железобетонного основания сборного или монолитного типа. Железобетонная плита является неупругим типом оснований, равномерно распределяющим нагрузки на слои грунта основания или земляного полотна.

Сравнение преимуществ и недостатков балластной и безбалластной систем трамвайных путей с точки зрения строительства и эксплуатации представлено в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение балластной и безбалластной систем [3]

Параметр	Балластная система		Безбалластная система	
	Преимущества	Недостатки	Преимущества	Недостатки
Шумоизоляция	✓			✓
Затраты на строительство	1 погонный метр – 38500 руб			1 погонный метр – 52600 руб
Стабильность основания	✓			✓
Срок службы		40 лет	60 лет	
Износ подвижного состава		✓	✓	
Затраты на эксплуатацию		✓	✓	
Стабильность геометрических параметров пути		✓	✓	

Анализируя данные табл. 1, допустимо сделать следующие выводы:

- балластные системы хорошо показывают себя на этапе строительства и в первые годы эксплуатации;
- безбалластные системы выигрывают балластные в долгосрочной перспективе за счет более длительного срока службы, меньшими затратами на эксплуатацию.

Наиболее распространенные известные безбалластные основания описаны А.П. Осыкой в патенте 2001 года публикации.

Известно основание, выполненное в виде монолитных железобетонных блоков, в которых рельс находится в швеллерообразном лотке, а оставшаяся часть конструкции залита бетоном. Недостатками такого вида основания является повышенная жесткость, способствующая возникновению ударных вибрационных нагрузок, которые воспринимаются бетоном, что приводит к его стремительному разрушению, повышенному износу рельсов, а также высокому шумообразованию.

Иной вид безбалластного основания, выполненный в виде железобетонных блоков в которых средняя часть является дорожным покрытием, а боковые части имеют продольные пазы для укладки в них рельс. Недостатками такого вида бесшпального основания является повышенная сложность изготовления, обусловленная необходимостью устройства пазов, а также недостаточная устойчивость рабочей поверхности, принимающей на себя нагрузки от автомобильного транспорта и подвергающаяся быстрому истиранию и износу [1].

Конструкция, требующая значительно меньших затрат на сооружении пазов в бетонном основании представлена В.В. Говоровым в патенте от 2007 года. Предложенный им вариант отличается тем, что в пазах присутствует упругий элемент, обеспечивающий необходимые регулировки ширины колеи на прямых и кривых участках пути и обеспечивает упругий контакт с поверхностью. Таким образом, данный вариант конструкции позволяет регулировать ширину колеи, не прибегая к реконструкции бетонного основания [2].

Принципиально отличная конструкция трамвайного пути на упругом балластном основании была описана В.Н. Суходеевым в статье от 2013 года. Его предложение заключается в создании автоматического регулируемого обжатия рельса во время эксплуатации с эффектом граблей [4].

Применение конструкции, создающей подобный эффект, позволяет усиленно гасить вибрации рельса в зонах приложения динамической нагрузки и, аналогично конструкции В.В. Говорова, регулировать ширину колеи, снижая затраты при строительстве.

Внушительным недостатком конструкции с применением эффекта граблей является отсутствие фиксации шпал друг с другом, что в процессе эксплуатации может привести к нежелательному изменению ширины колеи и созданию опасной ситуации, способной привести к ДТП. Проблемой для такой конструкции также может быть недостаточное обеспечение водоотвода, что при попадании воды в пространство, где установлены рельсы, может привести к размыву балластного основания и изменению положения шпал.

Проведя анализ преимуществ и недостатков различных конструкций трамвайных путей можно сделать выводы об эффективности их практического применения. Для создания основания лучше всего подхо-

дят железобетонные плиты за счет простоты использования. Наиболее эффективное их применение было реализовано В.В. Говоровым в патенте 2007 года. Предложенная им конструкция упругого элемента позволяет исключить дополнительные работы по реконструкции основания.

На рис. 1 представлена конструкция трамвайного пути на безбалластном основании, включающая преимущества описанного выше патента и исключающая недостатки конструкции, предложенной В.Н. Суходеевым за счет внедрения фиксации рельс между собой при помощи круглой тяги.

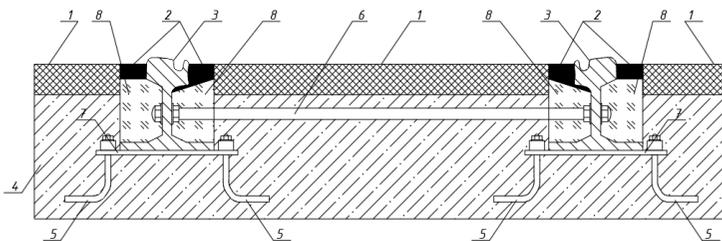


Рис. 1. Конструкция трамвайного пути:

1 – дорожная одежда; 2 – битумная заливка; 3 – желобчатый рельс; 4 – бетон; 5 – анкер; 6 – круглая тяга; 7 – металлическая пластина; 8 – упругий элемент

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 17542 U1 РФ, МПК В01В9/20. Основание рельсового пути. № 2000124435/20: заявл. 27.09.2000: опубл. 10.04.2001 / О.П. Осыка; И.А. Пичугов; заявитель и патентообладатель ЗАО «Петербург-Дорсервис» г. Санкт-Петербург // Yandex.ru: патенты. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU17542U1_20010410 (дата обращения: 06.03.2024);
2. Патент № 62120 U1 РФ, МПК E01B21/00. Трамвайный путь на бетонном бесшпальном основании № 2006139194/22: заявл. 07.11.2006: опубл. 27.03.2007 / В.В. Говоров; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения» г. Санкт-Петербург // Yandex.ru: патенты. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU62120U1_20070327 (дата обращения: 06.03.2024);
3. *Кахаров З.В.* железнодорожная конструкция для высокоскоростных дорог // Universum: технические науки: электрон. науч. журн. 2022. 5(98). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13786> (дата обращения: 06.03.2024);
4. *Суходеев В.Н.* Конструкция трамвайного пути с эффектом граблей // Сб. междунар. науч.-техн. конф. «Геотехника Беларуси: наука и практика», г. Минск, БНТУ, 23-25 октября 2013 г. Минск: БНТУ, 2013. С. 276-290. URL: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/10659/C.%20276-290.pdf?sequence=1&ysclid=ltgt7bkguz719773335> (дата обращения: 06.03.2024).

**ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФОГИПСА
В КАЧЕСТВЕ МИНЕРАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО
В ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЯХ**

Н.С. Старостин, А.В. Морозова, Д.В. Герасимов

Научный руководитель – **Д.В. Герасимов**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Статья направлена на развитие выгодной и безопасной утилизации такого отхода как фосфогипс. Описываются особенности и физико-механические свойства фосфогипса, описан расчет состава органоминеральных смесей с применением фосфогипса и проведен анализ имеющихся данных из патентной литературы.

***Ключевые слова:** фосфогипс, органоминеральные смеси*

**THE USE OF PHOSPHOGYPSUM
AS A MINERAL BINDER IN ORGANOMINERAL MIXTURES**

N.S. Starostin, A.V. Morozova, D.V. Gerasimov

Scientific Supervisor – **D.V. Gerasimov**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

The article describes the solution to the problem of utilization of phosphogypsum dumps, the features and physico-mechanical properties of phosphogypsum, describes the calculation of the composition of organomineral mixtures using phosphogypsum.

***Keywords:** phosphogypsum, organomineral mixture*

Проблема утилизации отходов стала наиболее актуальна в последние 30 лет. Самым выгодным способом утилизации является использование отходов в других отраслях.

В городе Череповец находится крупнейший в Европе производитель фосфорсодержащих удобрений. При их производстве, в качестве побочного продукта образуется фосфогипс. Компания создала специальный шламонакопитель фосфогипса, рассчитанный на складирование примерно 100 млн куб. метров вторичного ресурса.

Также, в 2020 году, жителей Балаково Саратовской области, стал беспокоить отвал фосфогипса в высоту 50 метров, неподалеку от местного филиала «АО Апатиты».

Процесс утилизации данного отхода дорогой и экологически небезопасный, поэтому одним из вариантов утилизации является применение фосфогипса в дорожной сфере.

Авторы проекта предлагают использовать данный отход в органоминеральных смесях по технологии холодного ресайклинга в качестве медленно твердеющего минерального вяжущего компонента совместно с битумной эмульсией.

Сама технология регенерации дорожной одежды в Российской Федерации является новой и перспективной. При использовании данной технологии происходит повторное использование ресурсов, что является экологически полезным и экономически выгодным решением.

Целью данной работы является – детальное исследование технологии устройства дорожных оснований с применением способа холодного ресайклинга и фосфогипса в качестве минерального вяжущего компонента органоминеральных смесей.

Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи, разбитые по этапам.

На первом этапе:

- изучение особенностей сырьевых материалов;
- поиск и анализ доступной патентной информации;
- разработка методики экспериментального исследования.

На втором этапе:

- проведение лабораторного эксперимента;
- оценка результатов и выработка рекомендаций.

Для проведения испытаний необходимо изучить соответствующую нормативно-правовую документацию и спланировать ход лабораторных экспериментальных исследований, используя доступное оборудование кафедры "ИиТ" ЯГТУ.

Фосфогипс – отход, образующийся при производстве экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК). На одну тонну ЭФК образуется до трех тонн фосфогипса, таким образом, данный отход считается много-тоннажным.

Физико-механические свойства фосфогипсового материала в зависимости от вида исходного сырья и степени уплотнения в месячном возрасте следующие:

- 1) предел прочности при изгибе, МПа – 1,5–5,0;
- 2) прочность на сжатие, МПа – 3,5–20,0;
- 3) средняя плотность, кг/м³ – 1600–2000;
- 4) водопоглощение, % – 1–6;

5) морозостойкость, циклов – 25–150.

В ряде научных работ и патентных свидетельств упоминаются результаты схожих по тематике исследований.

В работе Ю.В. Саенко, А.М. Ширанова, А.Л. Невзорова подробно описаны свойства полугидрата сульфата кальция:

Для полугидрата авторами данной работы было определено:

- 1) предел прочности на одноосное сжатие – 1,6 МПа;
- 2) предел прочности на одноосное сжатие после водонасыщения – 0,5 МПа;
- 3) коэффициент фильтрации – 0,28-0,35 м/сут.

Как отмечают С.И. Солдаткин и А.Е. Хохлов в своей работе, «что еще в 1987 году были подготовлены и утверждены «Методические рекомендации по устройству оснований дорожных одежд с использованием свежего фосфополугидрата сульфата кальция», где приведены ограничения на использование фосфогипса. Согласно этому документу, при производстве фосфорной кислоты образуются две разновидности фосфогипса: полугидрат и дигидрат сульфата кальция. Вяжущими свойствами обладает лишь полугидрат.

Ю.В. Саенко, А.М. Ширанов, А.Л. Невзоров дали рекомендации по применению фосфогипса в дорожном строительстве: «материал может иметь лишь ограниченное применение в качестве грунтового материала, например: в основании и теле земляного полотна автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения и переходным покрытием, заполнения карьерных выемок и т.п. Возможно применение при устройстве ограждающих дамб на накопителях твердых бытовых и промышленных отходов, а также при технической рекультивации указанных накопителей. При этом рекомендуется укладку дигидрата сульфата кальция выполнять с уплотнением до коэффициента уплотнения не менее 0,95, что позволит снизить его водопроницаемость и достичь максимально возможных значений деформационно-прочностных характеристик. Для формирования монолитного массива из полугидрата сульфата кальция с наибольшими значениями предела прочности время его транспортировки от места погрузки не должно превышать срока начала схватывания. При использовании этого отхода химической промышленности следует принимать во внимание его низкую морозостойкость и подверженность химической суффозии, а также необходимость нейтрализации содержащихся в нем кислот».

В ходе текущей работы, необходимо взять за основу ряд испытаний на соответствие нормативам исследуемых образцов по пределу прочности, водостойкости согласно действующему на данный момент ГОСТ 70197.1.

Порядок и правила выполнения данных испытаний основан на ГОСТ 70197.2 в разделе номер 10.

Согласно ГОСТ 70197.1 был рассчитан состав исследуемых образцов, приведенный в табл. 1.

Твердым наполнителем является асфальтогранулобетон. В качестве органического вяжущего необходимо использовать битумная эмульсия ЭБК-3 в количестве 4% от массы гранулята, а в качестве минерального – фосфогипс в количестве 4%; 6%; 8% от массы гранулята соответственно. Также один из образцов необходимо изготовить с добавлением портландцемента М500 в количестве 4% от массы гранулята, для сравнения с ним исследуемых образцов. Во все образцы была добавлена вода в количестве от массы гранулята 3%, 4%, 4,75%, 2% соответственно.

Таблица 1. Состав исследуемых образцов

Номер образца	Твердый наполнитель, г	Битумная эмульсия БК-2, г	Фосфогипс, г	Вода, г
1	8000	400	320	240
2	8000	400	480	320
3	8000	400	640	380
Номер образца	Твердый наполнитель, г	Битумная эмульсия БК-2, г	Портланд-цемент, г	Вода, г
4	8000	400	320	160

После этого необходимо провести гранулометрический состав исследуемых образцов, который представлен в табл. 2. Норматив для гранулометрического состава принят в соответствии с табл. 1 ГОСТ 70197.1.

Таблица 2. Гранулометрический состав исследуемых образцов

22,0	16,0	11,2	4,0	2,0
100%	90–00%	70–90%	35–60%	20–50%

Проанализировав ситуацию с фосфогипсом в России, можно сделать вывод, что технология достаточно актуальна в современное время. Главная проблема, что свойства фосфогипса в составе органоминеральных смесей для оснований дорожных одежд малоизучены и не описаны. Данная работа может стать основой для дальнейшего изучения темы и созданию патента.

Замена портландцемента на фосфогипс в качестве минерального вяжущего является экологически полезным и экономически выгодным

решением. Один мешок портландцемента стоит ориентировочно 400-600 рублей, а тонна фосфогипса 350–400 рублей.

Изучив физико-механические свойства, предварительно можно сделать вывод, что фосфогипс боится обильного водонасыщения, и при устройстве основания дорожных одежд необходимо будет учитывать данный факт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ Р 70197.1–2022. Смеси органоминеральные холодные с использованием вторичного асфальтобетона. Дороги автомобильные общего пользования. Общие технические условия. Москва: Российский институт стандартизации, 2022.
2. ГОСТ Р 70197.2–2022. Смеси органоминеральные холодные с использованием вторичного асфальтобетона. Дороги автомобильные общего пользования. Методы испытаний. Москва: Российский институт стандартизации, 2022.
3. *Солдаткин С.И.* Проблемы использования фосфогипса в дорожном строительстве / С.И. Солдаткин, А.И. Хохлов // Недр Приволжья и Прикаспия. 2019. Вып. 97. С. 58-61.
4. *Саенко Ю.В.* Механические свойства фосфогипса и возможные направления его утилизации / Ю.В. Саенко, А.М. Ширанов, А.Л. Невзоров // Construction and geotechnics. 2021. Т. 12, № 3. С. 84-93.

РЕМОНТНЫЕ КОМПЛЕКТЫ ГРМ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ЗМЗ-409

Т.М. Гусева, И.В. Калинина

Научный руководитель – **Т.М. Гусева**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

В статье представлены ремонтные комплекты газораспределительного механизма для двигателя ЗМЗ-409, их состав и качество.

***Ключевые слова:** ГРМ, ЗМЗ-409, ремонтные комплекты, запасные части*

TIMING REPAIR KITS GAS DISTRIBUTION MECHANISM FOR THE ZMZ-409 ENGINE

T.M. Guseva, I.V. Kalinina

Scientific Supervisor – **T.M. Guseva**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

The article presents repair kits of the gas distribution mechanism for the ZMZ-409 engine, their composition and quality.

***Keywords:** gas distribution mechanism, ZMZ-409, repair kits, spare parts.*

Газораспределительный механизм – является важнейшей частью двигателя автомобиля, от него напрямую зависят мощностные характеристики, экологичность, экономичность, а также и ресурс. Сложность ремонта заключается в трудности подбора качественного ремонтного комплекта (без брака, зазоров и биений), а также регулировка и доводка конкретного двигателя отдельно взятого автомобиля, учитывая все характеристики и особенности.

Чтобы механизм газораспределения прослужил долго, нужно уделять особое внимание не только подбору качественных запасных частей, но и технологии их установки на автомобиль. Нужно учитывать важность требований предъявляемых к установке запасных частей и ряду важных характеристик.

Ремонтный комплект фирмы БОН для Евро-3 (рис. 1) идет с разрезными звездами распредвала «МАСТЕР ФАЗА» АЛМАШ, также в

комплекте идет приспособление для установки фаз газораспределения для привода ГРМ двигателей ЗМЗ-409. В состав данного ремонтного комплекта входят усиленные двухрядные цепи DITTON (Прибалтика) 72/92 звеньев с диаметром втулки 6,35 мм и все необходимые детали для ремонта привода ГРМ, в том числе разрезные звезды распределительных валов «МАСТЕР ФАЗА», они позволяют изменять положение распределительного вала относительно коленчатого без снятия звезд с распределительных валов. Это облегчает установку нужного угла фазы газораспределения.



Рис. 1. Комплект цепей ГРМ фирмы Бон «Прогресс» [1]

Стоит заметить, что данный набор не лишен ряда недостатков таких как биение звезд в разных плоскостях, транспортёр низкой точности, натяжитель звездами достаточно спорное решение, так как появляется лишний шум, лишняя инерционность, появляется лишняя необходимость контроля соосности, бывают случаи заклинивания. Составная звезда с провалом тоже имеет отрицательные отзывы. Появляется лишнее биение. Цельная (литая) звезда с провалом гораздо предпочтительней и надежней.

Комплект цепей ГРМ ЗМЗ (2-рядные цепи 72/92, звездочки, рычаги, успокоители) 406-409 с подшипником "Золотая Серия" (рис. 2). Это серийно выпускаемый продукт Заволжским моторным заводом для ремонта автомобилей УАЗ, который имеет в своем составе серийные комплектующие (в том числе и гидронатяжители).



Рис. 2. Комплект цепей ГРМ ЗМЗ (2-рядные цепи 72/92, звездочки, рычаги, успокоители) 406-409 с подшипником "Золотая Серия" [2]

В состав комплекта входят: две разрезные звезды распредвала; звездочка промвала ведомая; звездочка промвала ведущая; звездочка коленчатого вала; башмак ПРОХОП-1 комплект; два гидронатяжителя; втулка; втулка с эксцентриком; двухрядная втулочно-роликовая цепь; успокоители (верхний, средний, нижний); прокладка передней крышки ГБЦ; прокладка крышки цепи правая и левая; две прокладки гидронатяжителя; две прокладки крышки гидронатяжителя; прокладка водяного насоса; транспортир с градуированной шкалой; шаблоны с профилем кулачка; паспорт.

Также существуют наборы, содержащие только необходимые запасные части (рис. 3). В данный оригинальный набор запасных частей входит 2-рядные цепи 72/92, плунжерные гидронатяжители и рычаги натяжителя цепи на звездах.

Если проводить ремонт и менять цепь ГРМ по пробегу, а не по неисправности, то можно приобрести только изношенные детали, с необходимыми комплектующими в наборе ремонтного комплекта запчастей, при условии, что остальные запчасти в системе полностью исправны.



Рис. 3. Оригинальный комплект ГРМ 3МЗ (цепи 72/92, рычаги, гидронатяжители) 406-409 с подшипником [2]

В большинстве случаев звезды служат гораздо дольше цепи (при отсутствии неисправностей), а это значит, что производить замену полного ремонтного комплекта вовсе необязательно.

В индивидуальных случаях можно заменить только цепь если к ее дефекту привела другая неисправность, которую тоже устранили.

Из большого количества представленных ремонтных комплектов выделяется рекомендованный заводом ремкомплект 3МЗ 406390662502 комплект ремонта ГРМ двигателей 405-409 (полный) 2-рядный, Евро-2,3 (с гидронатяжителями INA) Золотая серия (рис. 4).

Это модифицированный набор, созданный специалистами завода исходя из анализа огромного количества рекламаций выхода из строя цепей в гарантийный период. Инженеры сделали акцент на то, что все выходы из строя были из-за натяжителей низкого качества и завод в последней версии набора заменил натяжители на импортный аналог INA, применяемый на двигателях КАМИНС с огромным ресурсом, но мы понимаем, что это было очередной ошибкой инженеров завода, так как высококачественный натяжитель не может работать в паре с дефектными звездочками и выдавать ресурсы, приближенные к двигателям КАМИНС. Да, с ними двигатель стал работать лучше, но это не являлось решением проблемы в корне (биение и несоосность всех звезд, выход за допуски, брак, люфты и зазоры).



Актив:
Чтобы а

Рис. 4. Рекомендованный заводом ремкомплект ЗМЗ 406390662502 комплект ремонта ГРМ двигателей 405-409 (полный) 2-рядный, Евро-2,3 (с гидронатяжителями INA) Золотая серия [2]

Приспособление импортных натяжителей двигателя КАМИНС произведено путем добавления к ним доработанной, вновь выточенной на токарном станке втулки, для того чтобы натяжитель подходил к двигателю ЗМЗ-409.

При установке гидронатяжителей (неважно каких) необходимо настроить их положение с помощью дополнительных шайб под крышку для того, чтобы натяжитель работал в своем рабочем диапазоне.

Производитель ремонтных комплектов ГРМ Родос М (рис. 5) делает наборы из запчастей разных производителей, в частности используя втулочно-роликовые цепи автомобиля Мерседес (укорачивает оригинальную цепь до нужных размеров), тем самым собирая идеальный вариант привода цепей ГРМ.

Втулочно-роликовая "мерседесовская" цепь в отличие от тех втулочных, которые ставит ЗМЗ, не пилит башмаки и звёзды. Звезда промежуточного вала цельная, а не из двух половин. Это исключает всевозможные биения. Звёзды разрезные, что позволяет точно выставить фазы. В комплекте бронзовые упорные полукольца для распределительных валов и большая шайба крепления промежуточного вала, которая закрывает сливное отверстие рядом с промежуточным валом.



Рис. 5. цепи ГРМ фирмы Родос Морзе [3]

Механические натяжители, на мой взгляд, имеют преимущество, даже по сравнению с гидравлическими натяжителями нового типа ИНА.

Гидравлические натяжители в случае неисправности перестают натягивать, из-за этого пропадает натяг цепи, что приводит к серьезным последствиям. Иногда в случае неисправности гидравлический масляный натяжитель может понижать давление масла в системе.

Механический натяжитель, в свою очередь, является более надежным. Но и у него есть свои минусы. Механический натяжитель не умеет работать в обратную сторону, что в случае наличия биения звезд приведет к его разрушению или повреждению цепи. Механический натяжитель конструктивно проще гидравлического.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. БОН: сайт. URL: <https://bon74.ru/GRM-ZMZ-405-Evro-3,Remkomplekt-GRM-409-Evro-3,GRM-ZMZ-409-Evro-3,Komplekt-GRM-ZMZ-409-Evro-3,Komplekt-GRM-405-409-Evro-3>
2. TOPDETAL.RU: сайт. URL: https://topdetal.ru/catalog/avtozapchasti/detali_mashin/dvigatel/komplekt_grm_zmz_2_ryadnye_tsepi_72_92_zvezdochki_rychagi_uspokoiteli_406_409_s_podsh_zolotaya_seriya/
3. DRIVE2.RU: сайт. URL: <https://www.drive2.ru/1/580496785684828774/>

УСИЛЕНИЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ. МЕТОДЫ. ПЕРСПЕКТИВЫ

И.Х. Ибрагимов, В.М. Дудин

Научный руководитель – **В.М. Дудин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются основные методы усиления дорожной одежды автомобильных дорог, сравниваются традиционные способы ремонта и новые разработки.

***Ключевые слова:** усиление дорожной одежды, дефекты, регенерация, фрезерование*

REINFORCEMENT OF THE ROAD SURFACE. METHODS. THE PROSPECTS

I.H. Ibragimov, V.M. Dudin

Scientific Supervisor – **V.M. Dudin**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The main methods of strengthening the road network of highways are considered, traditional methods of repair and new developments are compared.

***Keywords:** reinforcement of pavement, defects, regeneration, milling*

Одной из основных проблем, преследующих Россию на всех стадиях исторического развития, является плохое качество автомобильных дорог.

Из диаграммы (рис. 1) видно, что доля автомобильных дорог регионального и местного значения, имеющих нормативное состояние едва превышает 50%. А процент соответствующих нормативам дорог федерального значения с наилучшего показателя в 2020 году снизился на 10% до 73%.

Дорожная сеть обеспечивает круглосуточный и бесперебойные проезд автотранспорта, и как следствие, социальное и экономическое

развитие регионов. Ремонт и содержание автодорог является одной из ключевых задач органов самоуправления.



Рис. 1. Процент нормативного состояния автомобильных дорог

В то же время большая часть автодорог характеризуется следующими дефектами:

- высокий уровень физического износа дорожных покрытий;
- высокая грузонапряженность и интенсивность движения;
- наличие под проезжей частью различных инженерных коммуникаций, имеющих высокую степень износа (большое количество вскрытий дорожного полотна существенно влияет на срок службы дорожных одежд).

По ряду указанных дефектов и иных причин верхний слой асфальтобетонного покрытия автодорог нуждается в обновлении или замене через 4-5 лет. Существует несколько основных способов повышения прочности дорожной одежды:

- усиление дорожной одежды укладкой выравнивающих и дополнительных слоев основания и покрытия;
- устройство усовершенствованных покрытий с использованием существующих дорожных одежд в качестве основания;
- замена верхних слоев дорожной одежды методами фрезерования или регенерации на ширину полос наката или на всю ширину покрытия с укладкой одного или нескольких слоев асфальтобетона;
- устройство защитных слоев износа путем укладки выравнивающего (или фрезерования) и одного дополнительного слоя [1].

Первый метод применим, когда дорожная одежда не имеет серьезных повреждений, а усиление необходимо в связи с увеличением интенсивности движения крупногабаритных машин. К тому же необходимо

учитывать большие поперечные уклоны старых дорожных одежд и выравнивать покрытие срезкой средней части ли повышением краев.

Суть второго метода заключается в том, что новое покрытие располагается на твердом основании. Это минимизирует возникновение трещин в случае просадки грунтов и, как следствие, отсутствует нужда в разборке основания [2].

Новые методы ремонта покрытий, такие как фрезерование и регенерация активно смещают старые способы, так как имеют ряд преимуществ.

Регенерация дорожного покрытия - технология ремонта асфальтобетонных покрытий с восстановлением их первоначальных эксплуатационных свойств (прочности, ровности, шероховатости), включающая в себя такие методы как: пропитка покрытия пластификаторами, восстанавливающими свойства битума; восстановление свойств асфальтобетонного покрытия на месте с использованием различных методов разогрева, разрыхления и улучшения свойств старого асфальтобетона; снятие старого асфальтобетона холодным или горячим способом и последующая его переработка на стационарном асфальтобетонном заводе или на месте производства работ [3].

Методы регенерации асфальтобетонов объединены в три основные группы: горячая регенерация, холодная регенерация, комбинированный метод холодно-горячей регенерации. Отличительной чертой технологии холодной регенерации является восстановление монолитности асфальтобетонных слоев на полную или частичную ширину без разогрева асфальтобетона.

Горячая регенерация или термопрофилирование асфальта на месте проведения работ делится:

- на метод термопластификации – горячая регенерация старого асфальтобетонного материала с добавлением в его состав омолаживающего (регенерирующего) агента;

- метод термосмещения – горячая регенерация старого асфальтобетонного материала с добавлением новой асфальтобетонной смеси, а также щебня, битумного вяжущего и/или омолаживающего агента;

- метод термопланирования – горячая регенерация старого асфальтобетонного материала без добавления новой асфальтобетонной смеси.

Главными преимуществами указанных методов является минимальное применение новых дорожно-строительных материалов, многосторонние возможности улучшения смеси, удешевление стоимости ремонта.

Согласно данным доклада о стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, ремонта и содержания 1 км автомобильных

дорог общего пользования Российской Федерации за 2019-2022 годы, стоимость ремонта 1 км автомобильной дороги увеличилась на 45 % [4].

Увеличение стоимости ремонтно-строительных работ, а также потребность в развитии дорожной сети требует внедрения новых технологий в дорожную отрасль. Необходимо совершенствование нормативно-правовой и рекомендательной документации. Технологии холодной и горячей регенерации асфальтобетона являются достаточно выгодными и перспективными по сравнению с традиционными методами ремонта дорог и должны активно применяться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОДМ 218.5.001-2009. Методические рекомендации по применению геосеток и плоских георешеток для армирования асфальтобетонных слоев усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог. Введ. 01.12.2009. М.: Федеральное дорожное агенство (РОСАВТОДОР), 2010. 29 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200075828>
2. *Боровской А.В.* Анализ основополагающих технологий капитального ремонта автомобильных дорог // Молодой ученый. 2020. № 11. С. 74-76. URL: <https://moluch.ru/archive/301/68078/>
3. ОДМ 218.6.1.006-2021. Методические рекомендации по горячей регенерации асфальтобетонных покрытий. Введ. 11.03.2021. М.: Федеральное дорожное агенство (РОСАВТОДОР), 2021. 38 с. URL.: <https://docs.cntd.ru/document/573892543>
4. Доклад о стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, ремонта и содержания 1 км автомобильных дорог общего пользования Российской Федерации (2022 год). URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/11570>

ПОВТОРНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА. МЕТОД ГОРЯЧЕЙ РЕГЕНЕРАЦИИ

А.Ю. Пучков, В.М. Дудин

Научный руководитель – **В.М. Дудин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Статья посвящена перспективам применения методов регенерации асфальтобетонов в дорожном строительстве, а именно горячей регенерации.

***Ключевые слова:** регенерация, дорожная одежда, RAP*

REUSE OF ASPHALT CONCRETE. THE METHOD OF HOT REGENERATION

A.Y. Puchkov, V.M. Dudin

Scientific Supervisor – **V.M. Dudin**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article is devoted to the prospects of using asphalt concrete regeneration methods in road construction, namely hot regeneration.

***Keywords:** regeneration, travel clothes, RAP*

Согласно основополагающим национальным целям и задачам развития Российской Федерации, развитие транспортной и дорожной инфраструктуры является одним из приоритетных направлений.

Объем расходов дорожных фондов ежегодно растет, что говорит о развитии и улучшении качества дорожной сети (рис. 1). Но в условиях экономического кризиса финансовая нестабильность и санкционные ограничения требуют ограничения и изменения приоритетов финансирования строительства и реконструкции объектов.



Рис. 1. Объем расходов дорожных фондов, млн руб.

Одним из перспективных направлений ремонта асфальтобетонных покрытий является метод регенерации. Регенерация (от лат. *regeneratio* – «возрождение, возобновление») в дорожном строительстве подразумевает под собой восстановление прочностных характеристик покрытий. Применительно к асфальтобетонам, регенерация означает переработку старого асфальтобетона с целью его дальнейшего применения в процессе ремонта. По месту производства делят регенерацию на асфальтобетонном заводе и на месте проведения работ.

На сегодняшний день принято различать три основных способа регенерации асфальтобетонов: горячий, холодный, смешанный. Каждый из способов уже хорошо зарекомендовал себя за рубежом. К примеру, по словам генерального уполномоченного Basalt-Actien-Gesellschaft немецкие компании используют повторно до 80% асфальта [1].

Горячая регенерация RAP является самым популярным методом регенерации в мире. Различают несколько видов горячей регенерации:

- без добавления новой смеси;
- с добавлением новой смеси, без перемешивания;
- с добавлением новой смеси и перемешиванием;
- укладка нового слоя асфальтобетона одновременно с устройством слоя с добавлением новой смеси и перемешиванием со старой.

Наибольшее распространение в России получил метод добавления новой смеси и примешивания ее со старой. Данная технология получила название термопрофилирование или Remix (рис. 2).

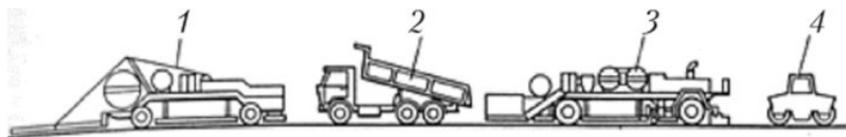


Рис. 2. Комплекс машин системы Remix:

- 1 – предварительный разогрев дорожного покрытия;
- 2 – россыпь дополнительная асфальтобетонная смесь;
- 3 – применение remixer; 4 – укатка смеси

Главным преимуществом данной технологии является хорошее сцепление слоев, поскольку новая горячая смесь укладывается на разогретое покрытие.

Технология Remix-plus является логическим продолжением метода Remix. Данный метод позволяет укладывать слой износа одновременно с восстановлением старого покрытия.

По ряду причин, таких как: отсутствие отечественной техники для регенерации на месте, нехватка квалифицированных специалистов, технология регенерации на месте менее актуальна для регионов России. Что касается регенерации на АБЗ, она также дает экономию средств порядка 20% по сравнению с укладкой нового слоя асфальтобетонной смеси толщиной 4 см традиционным способом.

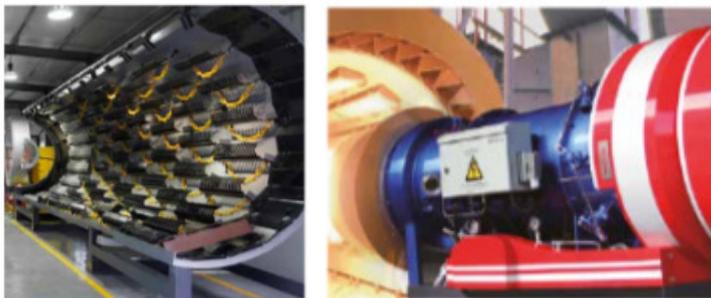
Наибольших успехов в регенерации на АБЗ достигли Китай, Япония и США. До 76% горячих асфальтобетонных смесей, производимой на асфальтобетонных заводах в Японии, содержат в себе переработанный асфальтобетон. Процентное содержание в смеси RAP варьируется от 20 до 60%.

В Китае первый нормативный документ, позволяющий использовать асфальтогранулят в слоях основания и нижнем слое покрытия, появился еще в 2008 г. В 2019 году был анонсирован новый документ, позволивший добавлять RAP в верхний слой покрытия [2].

Более половины асфальтобетонных заводов в Китае имеют смесители для RAP (рис. 3), линию горячего ввода и оборудование для необходимой подготовки материала и т.д. [3].

Китайское оборудования для ресайклинга отлично зарекомендовало себя на китайском и отечественном рынке. Оно позволяет модернизировать существующие асфальтобетонные заводы под современные технологии.

Проанализировав зарубежный опыт и мировые тенденции в дорожном строительстве можно сделать вывод, что технологии регенерации могут полностью заменить традиционные методы ремонта асфальтобетонных дорожных одежд.



А

Б

Рис. 3. Оборудование для переработки RAP на асфальтобетонном заводе:

А – сушильный барабан производительностью от 60 до 200 т/ч;

Б – горелка мощностью до 14000 кВт

Поскольку регенерация методом термопрофилирования включает в себя трудоемкие процессы разогрева и фрезерования старого покрытия, к тому же неизбежны значительные потери тепловой энергии при разогреве асфальтобетонного покрытия, более рациональным и выгодным будет являться метод горячей регенерации на заводе. Несмотря на то что он требует значительных ресурсов на модернизацию асфальтобетонных заводов и подготовку высококвалифицированных кадров, экономический эффект неоспорим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Министерство транспорта Российской Федерации. Федеральное дорожное агентство «РОСАВТОДОР»: официальный сайт. Москва. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/eye/page/80/248811>
2. Дороги России XXI века: обществ.-публицитст. науч.-техн. отраслевое издание. 2021, №5 (125). URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010967497/
3. Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2022. Т. 9, №4. URL: <https://t-s.today/issue-4-2022.html>

**КОНТРАКТЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА В ДОРОЖНОМ
СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ:
РЕАЛИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

О.С. Чанова

Научный руководитель – **В.М. Дудин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается перспектива использования контрактов жизненного цикла, с целью развития дорожной инфраструктуры Ярославской области.

***Ключевые слова:** контракт жизненного цикла, национальный проект, автомобильная дорога*

**LIFE CYCLE CONTRACTS IN ROAD CONSTRUCTION
OF THE YAROSLAVL REGION:
REALITIES AND PROSPECTS**

O.S. Chanova

Scientific Supervisor – **V.M. Dudin**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The prospect of using life cycle contracts is being considered for the purpose of developing the road infrastructure of the Yaroslavl region.

***Keywords:** life cycle contract, national project, highway*

Общий объем инвестиций в дорожное строительство Ярославской области в 2024 году составляет 16,5 млрд руб.: 7,3 млрд руб. по национальному проекту «Безопасные качественные дороги» [1], 4 млрд руб. – по программе «Сохранность региональных автомобильных дорог» и 1,3 млрд руб. – инфраструктурные бюджетные кредиты. По данным российской Счетной палаты, в 2022 году нормативам не соответствуют более 42% ярославских дорог. Из этого можно сделать вывод, что финансирование инфраструктурных объектов для государства обременительно и не является эффективным.

В определении наиболее эффективного направления использования запланированных государством средств национального проекта «Безопасные качественные дороги» для Ярославской области на 2023 год размером 10,3 млрд рублей наиболее актуальным становится вопрос о том, какие контракты обеспечат наибольшую эффективность этих затрат и максимальную безопасность построенных и обновленных дорог.

Контракт жизненного цикла (КЖЦ) – широко распространённая в зарубежной практике модель реализации инфраструктурных проектов на основании государственно-частного партнерства (рис. 1).



Рис. 1. Классическая схема КЖЦ [2]

В соответствии с КЖЦ частная сторона (подрядчик) обязуется за свой счет спроектировать построить (реконструировать) объект контракта и в течение определённого времени поддерживать его эксплуатационные характеристики, а государственная сторона (РФ, субъекты РФ, муниципальные образования) после ввода объекта в эксплуатацию обязуется выплачивать в адрес частной стороны ежегодно равными долями платежи за соответствие дороги функциональным требованиям, которые были утверждены заранее.

В декабре 2019 года в Ярославской области был заключен первый контракт на принципах жизненного цикла «Проектирование и строительство обхода города Гаврилов-Ям» [3].

В 2021 году на принципах КЖЦ были отремонтированы мять мостовых сооружений области. Кроме гарантийных обязательств подрядные организации будут выполнять работы по их содержанию до 2024 года [3].

Последний контракт был заключен в мае 2022 года «Капитальный ремонт подходов и мостового перехода через р. Сога в г. Пошехонье, Пошехонского муниципального района Ярославской области» [3].

Доля контрактов, заключенных Ярославской областью на принципах КЖЦ, составляет 15%, что соответствует плановым значениям реализации регионального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» [4].

В настоящее время необходимо информировать компетентных участников дорожно-строительной отрасли о новых возможностях финансирования, с целью увеличения количества проектов, реализуемых в соответствии с контрактами жизненного цикла.

Основными преимуществами подхода являются:

- неограниченность срока действия контракта;
- размер фиксированных платежей известен наперед;
- стабильное долгосрочное бюджетное финансирование;
- укрепление рыночных позиций фирмы (подрядчика);
- применение новых технологических и управленческих решений.

У таких контрактов есть и минусы:

1. Жизненный цикл проекта может быть длительнее срока планирования бюджета;
2. Сложности расчета стоимости КЖЦ в условиях нестабильной экономики;
3. Различие подходов к структурированию и сопровождению КЖЦ в зависимости от предмета контракта.

Ярославская область имеет большую сеть автодорог различного статуса. Однако, по доле автодорог, отвечающих нормативным требованиям, регион занимает семьдесят восьмое место среди субъектов РФ. Контракты жизненного цикла могли бы способствовать увеличению количества строящихся и ремонтируемых автодорог.

Поскольку КЖЦ является наиболее молодой формой ГПЧ, необходимо всесторонне продвигать данный принцип на всех уровнях власти, в особенности законодательном. На сегодняшний день существуют определенные проблемы в реализации КЖЦ-проектов, такие как:

- система двойного государственного контроля;
- отсутствие закреплённой схемы реализации проектов КЖЦ;
- закрытость информации о коммерческой составляющей проектов;
- отсутствие списка добросовестных компаний для реализации КЖЦ-проектов.

Решение указанных проблем способствует реализации «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства», сохранит темпы строительства и увеличит количество рабочих мест, а также обеспечит дина-

мичный рост экономики Ярославской области и улуччит качество жизни населения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальный проект «Безопасные качественные дороги». М.: Министерство транспорта Российской Федерации, 2018. 54 с. URL: <https://bkdrf.ru/> (дата обращения 12.12.2023).
2. VEGAS LEX, InfraOne «Контракты жизненного цикла – что день грядущий нам готовит? URL: https://www.vegaslex.ru/analytics/analytical_reviews/64185/ (дата обращения 12.12.2023)
3. Ярославская областная дорожная служба. URL: <https://yardsl.ru/> (дата обращения 12.12.2023);
4. Федеральный проект «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» М.: [Электронный ресурс] / Министерство транспорта Российской Федерации, 2008. 39 с. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/9759> (дата обращения 12.12.2023).

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ
КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ
РЕЗУЛЬТАТОВ АВТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ**

Ю.П. Нечаев, В.В. Иродов

Научный руководитель – **В.В. Иродов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматривается влияние коэффициента сцепления на величину остановочного пути автомобиля в зимний период времени. Определены основные зависимости величины остановочного пути автомобиля в зависимости от коэффициента сцепления при различном состоянии дорожного покрытия. Выполнен анализ погрешностей при определении остановочного пути автомобиля при различных состояниях дорожного покрытия.

Ключевые слова: остановочный путь, коэффициент сцепления, состояние покрытия, погрешность

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE
OF THE COEFFICIENT OF ADHESION
ON THE ACCURACY OF THE RESULTS
OF AN AUTOMOTIVE TECHNICAL EXAMINATION**

Y.P. Nechaev, V.V. Irodov

Scientific Supervisor – **V.V. Irodov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article examines the effect of the coefficient of adhesion of wheels to the soil on the value of the stopping distance of the car in winter. The main dependences of the value of the stopping distance of the car depending on the coefficient of adhesion for different road surface conditions are determined. The analysis of errors in determining the stopping distance of a car under various conditions of the road surface is performed.

Keywords: stopping distance, coefficient of adhesion, condition of the coating, error

На месте ДТП сотрудники ГИБДД состояние проезжей части определяют визуально (органолептически). При этом состояние проезжей части носит описательный характер. На основании этих данных эксперты

определяют коэффициент сцепления (φ) при производстве автотехнической экспертизы (АТЭ). Основным вопросом при производстве АТЭ является вопрос о технической возможности водителем предотвратить ДТП путем своевременного применения режима торможения. Одним из параметров, определяющих величину остановочного пути автомобиля в условиях места ДТП (S_0), является коэффициент сцепления.

Величина остановочного пути автомобиля – S_0 определяется по формуле [3]:

$$S_0 = v_a \cdot (T_1 + T_2 + 0,5 \cdot T_3) + \frac{v_a^2}{2 \cdot g \cdot \varphi},$$

где $T_1 = 0,8$ с – время реакции водителя;

$T_2 = 0,1$ с – время задержки срабатывания тормозной системы;

T_3 – время нарастания замедления;

v_a – скорость движения автомобиля;

φ – коэффициент сцепления.

Наиболее существенное влияние на величину S_0 оказывает состояние покрытия в зимний период. Согласно [1] «п. 5.2.2 Коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием должен быть не менее 0,3 при его измерении измерительным колесом стандартным с покрышкой с протектором без рисунка по ГОСТ 33078».

Результаты расчетов S_0 для $\varphi = 0,3$ по требованию [1] представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчетов S_0 для $\varphi = 0,3$

φ \ V_a , км/ч	20	60	90	110
0,3	10,68	63,51	130,67	188,62

График зависимости S_0 от V_a представлен на рис. 1.

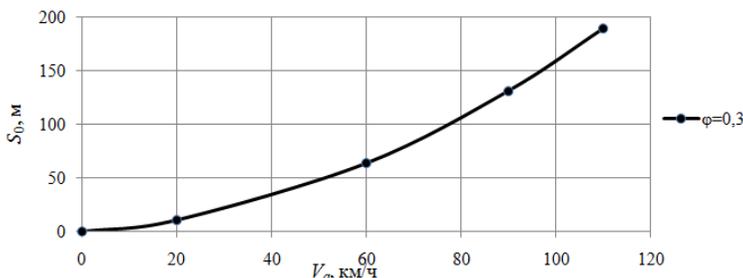


Рис. 1. Зависимость S_0 от v_a , км/ч

Согласно [2] «п. 2.1. Все виды снежно-ледяных отложений, образующихся на дорожном покрытии, по внешним признакам подразделяют на рыхлый снег, снежный накат, стекловидный лед».

Определяют каждый вид скользкости по следующим признакам:

1. **Рыхлый снег** откладывается на дорожном покрытии в виде ровного по толщине слоя.

Плотность свежеснег выпавшего снега может изменяться от 0,06 до 0,20 г/см³. В зависимости от содержания влаги снег может быть сухим, влажным и мокрым. При наличии слоя рыхлого снега **на дорожном покрытии коэффициент сцепления шин с покрытием снижается до 0,2.**

Результаты расчетов S_0 для рыхлого снега представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты S_0 расчетов для рыхлого снега

V_a , км/ч	20	60	90	110
φ 0,2	13,17	86,73	183,19	267,28

График зависимости S_0 от V_a для рыхлого снега представлен на рис. 2.

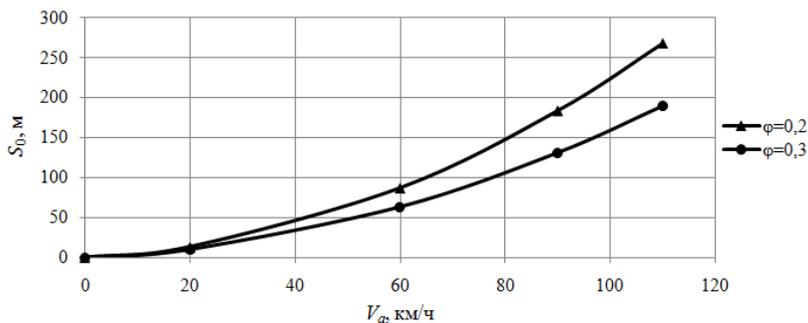


Рис. 2. Зависимость S_0 от V_a для рыхлого снега

2. **Снежный накат** представляет собой слой снега, уплотненного колесами проходящего автотранспорта. Он может иметь различную толщину – от нескольких миллиметров до нескольких десятков миллиметров – и плотность от 0,3 до 0,6 г/см³. **Коэффициент сцепления шин с поверхностью снежного наката составляет от 0,1 до 0,25.**

Результаты расчетов S_0 для снежного наката представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчетов S_0 для снежного наката

V_a , км/ч \ φ	20	60	90	110
0,1	21,05	157,62	342,63	505,52
0,25	11,59	72,55	151,3	219,63

График зависимости S_0 от V_a для снежного наката представлен на рис 3.

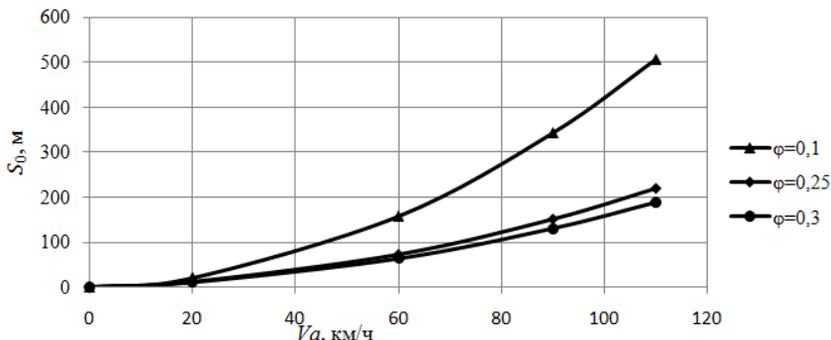


Рис. 3. Зависимость S_0 от V_a для снежного наката

3. **Стекловидный лед** появляется на покрытии в виде гладкой стекловидной пленки толщиной от 1 до 3 мм и изредка в виде матовой белой шероховатой корки толщиной до 10 мм и более.

Отложения стекловидного льда имеют плотность от 0,7 до 0,9 г/см³, а коэффициент сцепления составляет от **0,08 до 0,15**. Этот вид зимней скользкости является наиболее опасным. Отложения льда в виде матово-белой корки имеют плотность от 0,5 до 0,7 г/см³.

Результаты расчетов S_0 для стекловидного льда представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты расчетов для стекловидного льда

V_a , км/ч \ φ	20	60	90	110
0,08	24,86	192,64	421,72	623,88
0,15	15,66	109,94	235,71	345,93

График зависимости S_0 от V_a для стекловидного льда представлен на рис. 4.

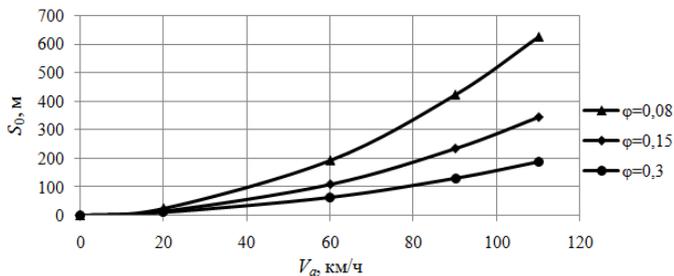


Рис. 4. Зависимость S_0 от V_a для стекловидного льда

Были рассчитаны погрешности в определении остановочного пути в зависимости от скорости движения при различном состоянии дорожного покрытия (табл. 5-7) и рис. 5-7.

Таблица 5. Результаты расчетов для рыхлого снега

V_a , км/ч	20	60	90	110
Погрешность, %	123	137	140	142
Техническая возможность	не имел	не имел	не имел	не имел

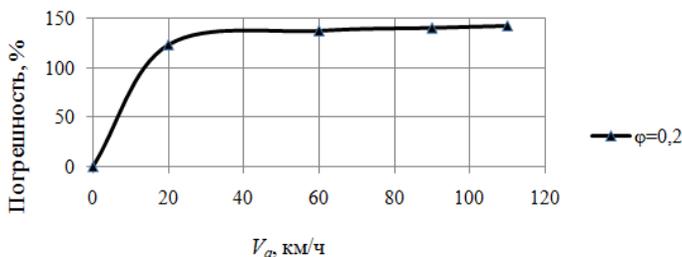


Рис. 5. Зависимость погрешности от скорости движения для рыхлого снега

Таблица 6. Результаты расчетов для снежного наката

V_a , км/ч	20	60	90	110
Погрешность, %	197-109	248-114	262-116	268-116
Техническая возможность	не имел	не имел	не имел	не имел

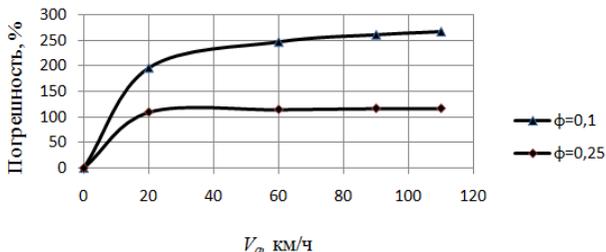


Рис. 6. Зависимость погрешности от скорости движения для снежного наката

Таблица 7. Результаты расчетов для стекловидного льда

V_a , км/ч	20	60	90	110
Погрешность, %	231-147	303-173	323-180	331-183
Техническая возможность	не имел	не имел	не имел	не имел

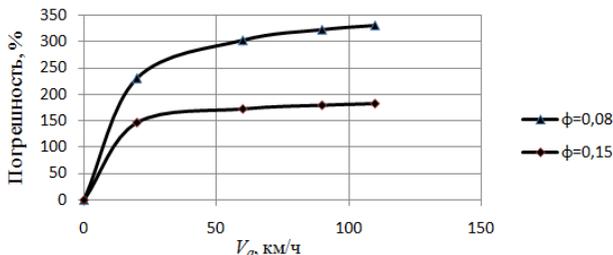


Рис. 7. Зависимость погрешности от скорости движения для стекловидного льда

Проведенные исследования показали, что для получения объективных результатов при производстве АТЭ необходимо производить измерение фактического значения ϕ на месте ДТП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50597-2017. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля.
2. Отраслевой дорожный методический документ. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. Утверждено распоряжением Минтранса России от 16 июня 2003 г. № ОС-548-р.
3. Пучкин В.А. Основы экспертного анализа дорожно-транспортных происшествий. База данных. Экспертная техника. Методы решений. Ростов н/Д.: ИПОПИ ЮФУ, 2010. 400 с.

**МЕТОДЫ БЕРЕГОУКРЕПЛЕНИЯ
И АНАЛИЗ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ
(НА ПРИМЕРЕ БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫХ
МЕРОПРИЯТИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ
НА УГЛИЧСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ)**

Я.В. Баскакова, Ю.С. Кашенков

Научный руководитель – **Ю.С. Кашенков**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

В работе представлен анализ текущих тенденций в области берегозащитных сооружений, оценка их эффективности, изучение влияния климатических изменений на необходимость усиления защиты берегов, исследование различных методов защиты берега от эрозии и наводнений.

***Ключевые слова:** берегозащитные сооружения, эрозия, наводнения, климатические изменения, безопасность береговой линии, методы защиты*

**METHODS OF SHORE PROTECTION
AND ANALYSIS OF THEIR EFFECTIVENESS
(USING THE EXAMPLE OF SHORE PROTECTION MEASURES
USED AT THE UGLICH RESERVOIR)**

Y.V. Baskakova, Y.S. Kashenkov

Scientific Supervisor – **Y.S. Kashenkov**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper presents an analysis of current trends in the field of coastal protection structures, an assessment of their effectiveness, a study of the impact of climatic changes on the need to strengthen coastal protection, a study of various methods of coastal protection from erosion and floods.

***Keywords:** coastal protection structures, erosion, floods, climate change, shoreline safety, protection methods*

В настоящее время существует большое количество методов берегоукрепления. Цель данного исследования – изучение эффективности и

эффективных методов защиты берегов от разрушительных воздействий волн и течений на примере Угличского водохранилища.

Все сооружения для защиты берегов можно разделить на два типа: активные и пассивные. Активные помогают создать и сохранить пляжи, защищая берега от размыва, в то время как пассивные предназначены для защиты от разрушительных воздействий волн и течений.

Пляжеобразующие защитные сооружения изготавливаются в виде бун, подводных волноломов сжатого и распластанного профилей, струе-направляющих дамб и др. Конструкции бун весьма разнообразны. Наиболее эффективно применение бун с первичной засыпкой в межбунное пространство пляжеобразующего материала. Группировка бун позволяет предотвратить размыв берегов. Местоположение этих сооружений, интервал между ними, угол наклона к береговой линии, а также их форма и размеры определяются на основе специальных исследований.

Среди пассивных средств защиты берега можно выделить несколько типов сооружений:

1. Упорные пояса: это подводные барьеры, которые имеют сжатый и разложенный профиль. Они обычно изготавливаются из натурального камня, фигурных природных блоков, массивов-гигантов, а также металлического или железобетонного шпунта. Упорные пояса предназначены для защиты берега от эрозии, волн и других природных воздействий.

2. Опояски: это еще один тип пассивных средств защиты берега. Опояски представляют собой структуру, обычно изготовленную из камня или других материалов и установленную параллельно берегу для уменьшения воздействия волн и защиты от эрозии.

3. Подпорные стенки: это сооружения, устанавливаемые вдоль берега для поддержки его структуры и защиты от обвалов и обрушений. Подпорные стенки могут быть изготовлены из различных материалов, таких как бетон, камень или металл.

Иногда используются откосные береговые укрепления, представленные различными видами покрытия:

- монолитные и сборные железобетонные плиты;
- легкие решетчатые плиты с насыпным материалом на песчано-гравийном фильтре, где ячейки заполняются камнем;
- габионные конструкции;
- гибкие тюфячные покрытия;
- каменно-набросные наклонные сооружения;
- ступенчатые укрепления;
- объемные георешетки и другие варианты.

Из-за уникальных условий географического расположения Угличского водохранилища, климата, особенностей грунтов, формирования берегов, рельефа и гидрологического режима, не все методы берегоукре-

пления могут быть применены. Общая протяженность берегов насчитывает более 830 км, включая около 130 км абразионных участков, что ограничивает возможность проведения масштабных мероприятий по берегоукреплению из-за экономических соображений. Укрепительные работы проводятся лишь на ограниченных участках для предотвращения эрозии берегов в поселениях, защиты кладбищ, а также обеспечения безопасности объектов с высоким социально-экономическим значением и предотвращения угрозы экологическому состоянию водохранилища.

В качестве берегозащитных сооружений на Угличском водохранилище применяют следующие конструкции: откосные сооружения из каменной наброски, подпорные стенки из разреженного шпунта (труб с забиркой из досок), бетонные подпорные стенки, стенки из пластикового шпунта, габионные конструкции, конструкции из георешеток. Все эти сооружения достаточно эффективно предохраняют берега от размыва и обрушения. Однако они имеют высокую стоимость работ по их монтажу и эксплуатации.

В последние годы стали популярны конструкции из пластикового шпунта, которые отличаются тем, что участки шпунта поочередно утапливаются в грунт с помощью переносных вибропогружателей. Одним из значительных преимуществ является их относительно низкая стоимость. Однако из-за того, что берега Угличского водохранилища состоят в основном из моренного суглинка с валунами, применение этой технологии ограничено из-за ограниченного срока службы таких берегоукреплений в данной местности.

Конструкции из каменной наброски являются надежными и долговечными. Они применялись для защиты участков железной дороги, проходящей через заливы Угличского водохранилища и на других участках. Однако их широкое использование ограничено высокими затратами на работы и отсутствием карьеров для добычи камня в близлежащих районах (рис. 1).



Рис. 1. Берегоукрепление в районе г. Мышкина

Подпорные стенки в виде разреженного шпунта требуют периодических ремонтов, а это очень затратно. Железобетонные подпорные стенки подвергаются постоянному размыву их оснований. Бетонные и деревянные подпорные стенки применялись в качестве набережной г. Калязин и в поселке Белый городок для защиты жилых строений и кладбища.

Широкое распространение получают в данное время габионные конструкции. Укрепление габионами производилось у деревни Прилуки Ярославской области. Недостатком данных конструкций являются все же финансовые затраты.

Конструкции из габионов использовались на участке «Золоторучье» Рыбинского водохранилища. Однако в ходе эксплуатации в условиях Угличского водохранилища при предаводковой сработке водохранилища в марте, сползающий с берега лед, смерзшийся с сеткой габионов, в отдельных местах разрывает ее, камень начинает вываливаться из поврежденных коробов габионов, и конструкция приходит в негодность.

Еще один из способов укрепления береговых склонов – это объемные георешетки. На предварительно выровненную поверхность откоса укладывается георешетка из геосинтетических материалов, которая закрепляется анкерами на откосе. Затем ячейки заполняются грунтом с последующим посевом в него травы или щербнем. Эти конструкции были использованы на Угличском водохранилище для укрепления откоса в районе деревни Никитское Калязинского района Тверской области и показали свою устойчивость и надежность.

Для Угличского водохранилища на устойчивость береговых склонов значительно влияет степень водонасыщения грунтов, слагающих оползневой склон, поэтому необходимо принять меры по недопущению обводнения склона. В этом помогает расположение на небольшом расстоянии от бровки откоса перехватывающего дренажа. Он ликвидирует возможность размыва откоса потоками воды и предотвращает слишком сильное водонасыщение земельного массива. Дренаж должен быть оборудован закрытыми водоспусками, а именно трубами ПВХ, зарытыми в грунт и легко промываемыми.

Проблему укрепления протяженных участков потенциально неустойчивых берегов Угличского водохранилища можно решить путем высадки растений (рис. 2).

Один из простых и экономически эффективных методов укрепления берегов – это посадка деревьев и кустарников на склонах. Они задерживают снег, что предотвращает глубокое промерзание грунта, а их корни укрепляют грунт, повышая устойчивость склонов и предотвращая эрозию земли в результате воздействия волн. Для укрепления склонов Угличского водохранилища можно использовать местные растения, такие как можжевельник, сосна, лиственница, ива, облепиха, шиповник, сирень и боярышник.



Рис. 2. Пример высадки растений г. Мышкин. Набережная реки Волги

В случае активной эрозии нижней части склона под действием волн и течения необходимо применять защитные сооружения от волн. Выбор конкретного типа защиты зависит от местоположения работ по укреплению берегов.

Для защиты от паводков в качестве подпорных сооружений разработаны современные быстровозводимые эластичные конструкции. Они легко транспортируются и быстро устанавливаются при относительно невысоких затратах.

Для обеспечения устойчивости эти конструкции заполняют водой и специальной гидросмесью, представляют собой оболочку с несколькими гибкими патрубками. В случае сильных волнений оболочка комплектуется поперечными усиливающими поясами и крепится на месте с помощью дополнительного обвязывания или якорей.

Для защиты от наводнений в критических зонах устанавливаются гибкие водонаправляющие дамбы, изготовленные из прочных материалов. Эти дамбы представляют собой гибкие замкнутые рукава, состоящие из внешней оболочки из синтетической ткани и двух герметичных внутренних камер, сделанных из многослойных полимерных пленок. Производство этих конструкций осуществляется на территории Российской Федерации. Комплект поставки включает в себя четыре гибких рукава длиной по 25 метров.

Для непрерывной защиты берегов от негативного воздействия используются гибкие ограждающие конструкции, которые включают в себя внутреннюю водонепроницаемую трубчатую оболочку из геотекстиля для удержания наполнителя и внешнюю оболочку из стальной сетки. Дополнительная защита, такая как габионы, может быть установлена наружу конструкции.

Учитывая значительную длину абразивных участков на Угличском водохранилище, необходимо искать эффективные, долговечные, легко обслуживаемые, недорогие и легко реализуемые методы защиты. Меры по укреплению берегов должны быть комплексными, так как берега водохранилища подвержены различным воздействиям и должны способствовать увеличению жизненного цикла водохранилища и защите особо ценных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смирнов В.А.* Методы берегоукрепления в условиях водохранилища: практические аспекты применения". М.: Издательство "Водные ресурсы", 2018.
2. *Жуков А.П.* Анализ эффективности методов берегоукрепления на примере участка береговой линии Угличского водохранилища / А.П. Жуков, П.С. Иванов // Геотехника и экология. 2020. №3.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ПРИРОДНОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ

С.В. Коренев, Ю.С. Кашенков

Научный руководитель – **Ю.С. Кашенков**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В работе представлены мероприятия по защите окружающей среды при строительстве нефтегазовых объектов.

***Ключевые слова:** экологические требования, проектирование объектов, воздействие на окружающую среду, мероприятия по охране окружающей среды*

MEASURES TO PROTECT THE NATURAL ENVIROMENT IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF OIL A GAS FACILITIES

S.V. Korenev, Yu.S. Kashenkov

Scientific Supervisor – **Yu.S. Kashenkov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper presents environmental protection measures during the construction of oil and gas facilities.

***Keywords:** environmental requirements, object design, environmental impact, environmental protection measures*

Экологические стандарты для проектирования объектов сбора, подготовки и транспортировки нефти и газа основаны на действующем законодательстве Российской Федерации.

Реализация и финансирование мер по охране природы, предусмотренных соответствующими нормативными актами, обязательно учитывается при строительстве нефтегазовых транспортных систем

В отличие от линейных участков трубопровода, воздействие источников загрязнения окружающей среды при строительстве нефтегазовых объектов ограничено по территории и зависит от объема выполняемых работ.

Источниками комплексного воздействия на окружающую среду в процессе строительства и эксплуатации нефтегазовых объектов являются:

- технологические и вспомогательные сооружения;
- подъездные дороги;
- временные поселки для строителей;
- временные производственные базы и системы коммуникаций.

Для снижения негативного воздействия на природную среду во время строительства и эксплуатации нефтегазовых объектов предпринимаются следующие меры:

- разумное размещение объектов;
- организацию временных баз с учетом экологии;
- строгий контроль за использованием транспорта.

Прямое воздействие на почву включает:

- нарушение естественного рельефа;
- ущерб сельскохозяйственным угодьям;
- загрязнение почвы строительными материалами;
- техногенные изменения микрорельефа.

После завершения строительства большинство нарушений исправляется с помощью специальных организационно-технических мероприятий и рекультивации участков земли.

Источники загрязнения воздушного бассейна включают:

- дым от дизельных двигателей, сгорания древесины и строительных материалов;
- выхлопные газы от строительных машин, автотранспорта, котельных и электростанций;
- пыль, вызванная движением транспорта, производственных объектов и работ по разработке грунта;
- выпаривание углеводородов из хранилищ горюче-смазочных материалов и автозаправочных станций;
- сварочные аэрозоли.

Для уменьшения негативного влияния выбросов загрязняющих веществ в процессе строительства необходимо:

- принимать во внимание близость к котельным, базам для сварочных работ, хранилищам горюче-смазочных материалов и местам проживания людей при выборе расположения временных мест жительства и котельных;
- регулярно увлажнять дороги и площадки в сухую погоду;
- обеспечивать контроль за состоянием автотранспорта;
- запретить сжигание мусора в не предназначенных для этого местах.

Источниками шумового загрязнения окружающей среды во время строительства, являются автотранспорт и строительная техника, сконцентрированные на строительной площадке.

Для борьбы с шумовым загрязнением окружающей среды во время строительства можно применить следующие меры:

- использование техники с низким уровнем шума: При возможности выбора, предпочтение отдается строительной технике и автотранспорту, которые характеризуются более низким уровнем шума.

- регулярное обслуживание техники: Регулярное обслуживание и техническое обновление строительной техники и автотранспорта помогает снизить шум, вызванный износом и неисправностями.

- оптимизация рабочих процессов: Строительные процессы могут быть спланированы таким образом, чтобы минимизировать одновременную работу большого количества техники, что может снизить общий уровень шума на стройплощадке.

- использование барьеров и звукопоглощающих материалов: Установка временных барьеров и применение звукопоглощающих материалов вокруг стройплощадки может уменьшить распространение звука в окружающую среду.

- регулярный мониторинг уровня шума: Организация системы мониторинга позволяет оперативно выявлять и реагировать на возросший уровень шума, обеспечивая его минимизацию.

Основными источниками загрязнения водных объектов во время строительства являются бытовые, промышленные и ливневые стоки с территории временного жилого поселка и выбросы с временных объектов и площадок технологических сооружений.

Для предотвращения загрязнения водных объектов при заливании водоемов следует:

- установить компактные и эффективные системы очистки, а также иловые отстойники для обработки стоков промышленной и бытовой канализации с территории строительной базы и жилого поселка;

- провести строительство водоотводных канав и направляющих валиков для отвода поверхностных и дренажных вод с территории нефтегазового объекта и временной строительной базы.

При организации полигона для бытовых отходов нефтегазовых объектов требуется соблюдение следующих условий:

- расположение на удалении не менее 500 м от жилой застройки;
- размещение не ближе 500 м к дорогам;
- использование основания из глины или тяжелых суглинков;
- грунтовые воды должны находиться на глубине более 2 м без выходов;

- площадки под контейнерами от жилых зон должны быть не менее 20 м, но не более 100 м;
- обязательное наличие ограждения, асфальтового или бетонного покрытия, а также уклона к проезду.

Цель экологической политики в трубопроводном транспорте - снижение негативного воздействия на окружающую среду и соответствие европейским экологическим стандартам.

Экологическая безопасность должна быть обеспечена на всех этапах нефтегазового бизнеса, включая разведку, строительство, эксплуатацию, транспортировку, переработку, хранение и распределение нефти, нефтепродуктов и газа.

Система безопасности для нефтегазовых объектов включает широкий комплекс инженерно-экологических мероприятий, направленных на безопасное строительство и эксплуатацию, учитывая нормативные факторы риска.

Оптимальность таких мероприятий определяется минимизацией негативного воздействия на окружающую среду и снижением риска нарушения экологического равновесия в зонах строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нефтегазовое строительство: Учебное пособие / под ред. И.И. Мазура, В.Д. Шапиро. М.: ОМЕГА-Л, 2005.
2. СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы. М.: ФГУП ЦПП, 2005.
3. СНиП 3.01.01-85*. Организация строительного производства. М.: ФГУП ЦПП, 1998.

ИССЛЕДОВАНИЕ EPC-КОНТРАКТОВ НА МИРОВОМ РЫНКЕ И ОБОСНОВАНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВ ОТ ИХ ВНЕДРЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВО

Л.А. Ляпунова, К.А. Куликова

Научный руководитель – **К.А. Куликова**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрена история и особенности внедрения EPC-контрактов в различных отраслях. Дано понятие EPC-контрактов в сфере промышленного, гражданского и дорожного строительства. Исследованы уровень внедрения и перспективы развития EPC-контрактов в России.

Ключевые слова: *инжиниринг, контракт, заказчик, подрядчик, проектирование, закупка, строительство*

RESEARCH OF EPC CONTRACTS ON THE GLOBAL MARKET AND JUSTIFICATION OF THE BENEFITS OF THEIR IMPLEMENTATION IN CONSTRUCTION

L.A. Lyapunova, K.A. Kulikova

Scientific Supervisor – **K.A. Kulikova**, Senior Teacher

Yaroslavl State Technical University

The history and features of the implementation of EPC contracts in various industries are considered. The concept of EPC contracts in the field of industrial, civil and road construction is given. The level of implementation and prospects for the development of EPC contracts in Russia are investigated.

Keywords: *engineering, contract, customer, contractor, design, purchase, construction*

На протяжении многих лет самым распространенным контрактом в сфере крупных строительных проектов был договор, по которому одна организация выполняет работы в комплексе, берет на себя весь объем работ по фиксированной цене и сдает объект «под ключ». Данные договоры получили названия «контракт на проектирование, закупку и строительство» или EPC-контракт.

Принимая во внимание достоинство данных контрактов для инвесторов и заказчиков в виде возможности прогнозирования сроков выпол-

нения работ и финансирования, крупные организации, в том числе Международная федерация инженеров-консультантов (FIDIC), учтя реальные рыночные условия, разработали модель EPC-контрактов в виде шаблонов.

Ранее такие контракты были более распространены в горнодобывающей промышленности, однако развиваясь с течением времени, концепция EPC-контрактов адаптируется к разнообразным потребностям различных отраслей, таких как нефтехимической, горнодобывающей, энергетической и опреснительной. В ходе развития выделяются различные типы и подходы, уточняются этапы и условия их исполнения.

Относительно отрасли промышленного, гражданского и дорожного строительства контракт EPC (engineering, procurement and construction) – это форма контракта, по которому одна организация берет на себя все этапы проектирования, закупки и строительства объекта. В процессе реализации EPC-контракта можно выделить несколько ключевых этапов (рис. 1):

– Проектирование: заказчик и подрядчик оценивают требования к проекту и готовят необходимую документацию, включая проект, специальные спецификации и планы. Здесь же определяются цены на оборудование и материалы.

– Закупки: подрядчик закупает все необходимые материалы, оборудование и услуги и контролирует сроки и стоимость закупок. Подрядчики могут использовать субподрядчиков и поставщиков (имея определенные риски) или выполнять работу самостоятельно, если обладают достаточными ресурсами и квалификацией.

– Строительство: подрядчик осуществляет строительство, монтаж и ввод объекта в эксплуатацию и обеспечивает качество и безопасность работ. Подрядчик несет риск соблюдения сроков и бюджета, а также устранения дефектов и недостатков.

– Сдача проекта: подрядчик сдает готовый проект «под ключ» заказчику и получает от него платежные и гарантийные обязательства. Заказчик подтверждает соответствие проекта своим требованиям и начинает эксплуатацию.



Рис. 1. Ключевые этапы заключения EPC-контракта

В России рынок EPC услуг начал формироваться в начале XXI века. Его появление было связано, прежде всего, с усложнением деятельности нефтегазовых предприятий и появлением на рынке узкоспециализированных компаний. Тем не менее, российский рынок инжиниринговых

контрактов на сегодняшний день находится на самом начале своего формирования со значительно малой долей реализации крупных проектов.

Прообразом современных инжиниринговых компаний стали проектно-изыскательские организации, возникшие в России сразу после Октябрьской революции. Отсутствие в то время единых стандартов, норм и методик для проектных работ в различных отраслях делало проблематичным создание национальной комплексной научно-практической организации по вопросам проектирования [1].

На данный момент строительная отрасль стремительно развивается, появляются новые способы проектирования, заключения контрактов и сам процесс строительства модифицируется.

Выполнение работ по ЕРС-контракту значительно повышает ответственность генерального подрядчика за качество выполненных работ и обязательства, так как стоимость работ по договору определяется по соглашению сторон, а расходы генподрядчика до момента сдачи объекта заказчику покрываются за счет собственных средств и банковских кредитов. Расчет заказчика с генподрядчиком происходит после подписания акта сдачи-приемки работ, а в свою очередь генподрядчик производит окончательный расчет с субподрядчиком после выполнения им комплекса работ в соответствии с ценой, установленной на момент подписания договора субподряда. Таким образом, по данному договору подрядчик берет на себя всю ответственность за организацию и сдачу работ [2].

Таким образом, ЕРС-контракты считаются одной из самых прогрессивных форм капитального строительства и представляют собой сложную договорную модель со своими особенностями.

Внедрение ЕРС-контрактов в область промышленного, гражданского и дорожного строительства позволит усовершенствовать отношения между исполнителем и инвестором и позволит обеспечить более выгодное финансирование.

Данная модель имеет свои минусы, но для развития строительства, в том числе дорожного, ЕРС-контракты необходимо адаптировать под требования отрасли с целью ее совершенствования. В свою очередь успех внедрения зависит от многого: уровень технической готовности, степени готовности специалистов и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лазник А.А.* Международный опыт применения ЕРС(М)-услуг в нефтегазовом комплексе и возможности его адаптации к российским условиям: автореф. дис. ... канд. экон. наук. Москва, 2017. 25 с.
2. *Линник В.Ю.* Современная практика применения инжиниринговых контрактов в нефтегазовом комплексе: монография / В.Ю. Линник, Ю.Н. Линник, А.А. Лазник. Москва: РУСАЙНС, 2024. 366 с.

ПРЕИМУЩЕСТВА INDORCAD/ROAD ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

А.В. Никифорова, К.А. Куликова

Научный руководитель – **К.А. Куликова**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрено отечественное программное обеспечение для проектирования автомобильных дорог. Сделаны выводы о преимуществах использования программного продукта IndorCAD/Road.

Ключевые слова: цифровизация строительства, BIM-моделирование, информационная модель, проектирование, жизненный цикл

ADVANTAGES OF INDORCAD/ROAD IN THE DESIGN OF HIGHWAYS

A.V. Nikiforova, K.A. Kulikova

Scientific Supervisor – **K.A. Kulikova**, Senior Teacher

Yaroslavl State Technical University

The domestic software for the design of highways is considered. Conclusions are drawn about the advantages of using the IndorCAD/Road software product.

Keywords: digitalization of construction, BIM modeling, information model, design, life cycle

На современном этапе развития строительной отрасли в Российской Федерации с целью оптимизации процессов проектирования и возможности управления объектами на всех этапах их жизненного цикла активно обсуждается и попутно внедряется BIM-моделирование. Импульсом активной цифровизации строительства стало постановление Правительства РФ от 5 марта 2021 г. № 331, обязывающее участников инвестиционно-строительного процесса вести информационные модели объектов капитального строительства, финансируемых с привлечением средств бюджетов бюджетной системы Российской Федерации.

Помимо объектов промышленного и гражданского назначения, данные обязательства затрагивают и сферу дорожного хозяйства, что обостряет необходимость развития и массового внедрения современного

узконаправленного программного обеспечения для проектирования линейно-протяженных объектов.

Рынок современного отечественного ПО для проектирования объектов дорожного хозяйства представлен рядом программных продуктов:

- nanoCAD – nanoCAD GeoniCS;
- IndorCAD/ Road – проектирование;
- IndorRoad – эксплуатация и управление;
- Топоматик Robur;
- Credo/Кредо Дороги;
- Renga.

Старт для внедрения BIM-технологий был положен еще в 2014 году. На протяжении следующих 10 лет весьма рентабельной в сфере BIM-технологий показала себя компания «Индорсофт», обладающая обширным комплексом программно-технических решений для полной автоматизации всех видов работ проектно-изыскательских и эксплуатирующих организаций.

Уже в 2016 году система IndorCAD/Road была включена в единый реестр российских программ, созданный Министерством связи и массовых коммуникаций России в соответствии со статьей 12.1 ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» в целях расширения использования российских программ для ЭВМ и баз данных. Это была первая система для проектирования дорог, которая удовлетворяла жестким требованиям Минкомсвязи России и получила утверждение Экспертного совета по российскому программному обеспечению (рис. 1) [1].

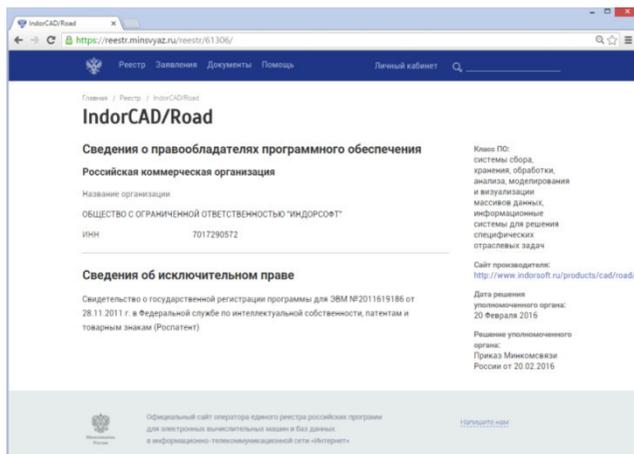


Рис. 1. Сведения об исключительном праве [1]

На «Цифровом маркетплейсе для взаимодействия разработчиков программного обеспечения и заказчиков» [2] представлены отзывы организаций и частных лиц на множество программных продуктов. На рис. 2 представлены критерии (оценены пользователями программы IndorCAD/Road), подтверждающие большой спрос и высокий рейтинг программы (основано на 124 отзывах) [3].

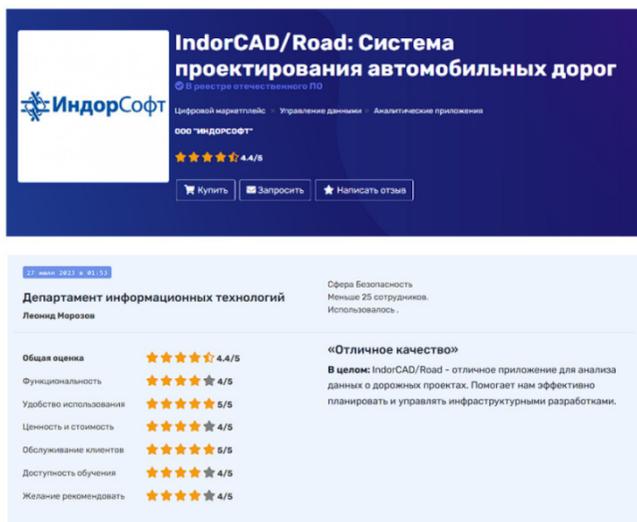


Рис. 2. Оценка IndorCAD/Road: Система проектирования автомобильных дорог [2]

Программа IndorCAD/Road дает обширные возможности для проектирования автомобильных дорог, а также она удовлетворяет техническим требованиям ОДМ 218.3.105-2018 к программному обеспечению.

Специалистом по проектированию и сопровождению строительства и эксплуатации транспортных объектов Алексеем Николаевичем Антроповым выделены четыре явных достоинства и преимущества программы IndorCAD [4]:

- интуитивная понятность;
- своевременная и оперативная работа технической поддержки;
- возможность решения разноплановых задач;
- BIM-совместимость для управления всеми процессами жизненного цикла сооружения.

Также продукты компании «ИндорСофт» с каждым годом повышают потребность в своём использовании для создания полноценного объекта инфраструктуры, предоставляя инженеру возможность охватить полный цикл работ по проектированию, начиная с ввода данных инже-

нерно-геодезических и инженерно-геологических изысканий и заканчивая подсчётом объёмов работ и формированием проектной документации согласно действующим стандартам.

Система IndorCAD/Road позволяет проектировать автомобильные дороги всех категорий на стадии их строительства, реконструкции и ремонта. Возможности системы реализуют концепцию информационного моделирования (BIM), позволяющую в процессе проектирования создавать не только совокупность чертежей и описаний будущего объекта строительства, а его информационную модель, выступающую в качестве общего ресурса знаний и получения информации об объекте, обеспечивая принятие оптимальных решений.

Можно сделать вывод, что программа IndorCAD/Road компании «ИндорСофт» наряду с иными программами проектирования имеет явные преимущества:

1. Является полностью отечественным продуктом;
2. Имеет невысокую стоимость лицензии [5];
3. Удовлетворяет требованиям нормативных документов;
4. Пользуется высоким спросом пользователей;
5. Справляется с задачами разного уровня сложности;
6. Имеет понятный интерфейс;
7. Имеет доступное и оперативное информирование о появлении обновлений в работе программы;
8. Имеет ряд курсов по изучению работы программы.

Таким образом, использование программы IndorCAD/Road может значительно облегчить и ускорить процесс разработки проектной документации, в перспективе влияя на перестройку организации рабочего процесса и структуры проектных организаций в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система IndorCAD/Road включена в единый реестр российских программ // IndorSoft. URL: <https://indorsoft.info/about/news/52022/> (дата обращения: 28.02.2024)
2. Маркетплейс программного обеспечения и цифровых платформ // Цифровой маркетплейс. URL: <https://platforms.su/> (дата обращения: 28.02.2024)
3. Отзывы IndorCAD/Road: система проектирования автомобильных дорог – IndorCAD/Road // Цифровой маркетплейс. URL: <https://platforms.su/platform/561/reviews> (дата обращения: 28.02.2024)
4. Четыре козыря IndorCAD. Пользователь системы раскрывает карты // IndorSoft. URL: <https://indorsoft.ru/about/news/52717/> (дата обращения: 28.02.2024)
5. Комплектация IndorCAD/Road // IndorSoft. URL: <https://indorsoft.ru/products/cad/compare/> (дата обращения: 28.02.2024).

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

И.И. Самолетов, К.А. Куликова

Научный руководитель – **К.А. Куликова**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрены особенности проектирования в горной местности. Проанализирована научная литература и нормативная документация. Исследована степень проработки проектирования автомобильных дорог в горной местности.

Ключевые слова: *горная местность, серпантины, гиперсеть*

ON THE ISSUE OF DESIGNING HIGHWAYS IN A MOUNTAINOUS AREA

I.I. Samoliotov, K.A. Kulikova

Scientific Supervisor – **K.A. Kulikova**, Senior Teacher

Yaroslavl State Technical University

Features of design in mountainous areas are considered. Scientific literature and regulatory documentation were analyzed. The degree of development of the design of highways in mountainous areas has been studied.

Keywords: *mountainous areas, serpentines, hypernet*

Различные природные условия оказывают значительное влияние на особенности трассирования и проектирования автомобильных дорог.

В настоящее время идет активное строительство новых и реконструкция существующих автомобильных дорог в горной местности. Это обусловлено тем, что в горной местности автомобили являются основным видом транспорта, и им принадлежит ведущая роль в своевременном удовлетворении потребностей современного общества.

Горная местность занимает достаточно обширную площадь России и имеет ряд особенностей, влияющих на проложение автомобильных дорог и условия эксплуатации транспортных средств. В связи с этим при проектировании необходимо особое внимание уделять:

- уклонам продольного профиля;
- извилистости плана трассы;

- перепадам высот;
- горным породам в местах проложения трассы.

Наиболее сложным элементом плана трассы в горной местности является серпантина, представляющая собой внешнюю кривую, в отличие от традиционной внутренней кривой угла поворота дороги. Обладая рядом индивидуальных показателей, серпантины имеют присущие только им особенности, осложняющие работу проектировщиков и увеличивающие сроки подготовки проектной документации.

Несмотря на наличие научно-технической базы по проектированию дорог в горных условиях отмечается отсутствие единых и универсальных способов проектирования серпантин, в том числе в автоматизированных комплексах.

В работе В.В. Лопашука [1] впервые предложена единая расчетная схема серпантинного любого вида и рода, легко поддающаяся алгоритмизации для перспективного ее внедрения в программные комплексы по проектированию автомобильных дорог. При этом серпантину следует рассматривать как единый элемент плана, состоящий из одиннадцати единичных элементов.

Г.Б. Токтошов в своей работе [2] предлагает проектирование автомобильных дорог в горной местности в форме гиперсетевого подхода (рис. 1).

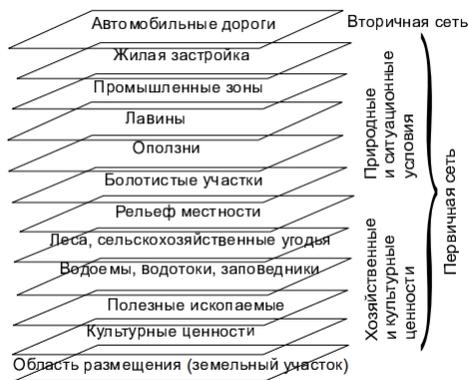


Рис. 1. Послойное представление построения сети дорог [2]

В качестве первичной сети представлена цифровая модель местности (ЦММ), содержащая детальную и подробную информацию о природных и ситуационных условиях. Следовательно, проектируемая дорога в комплексе является вторичной сетью относительно ЦММ, при этом все

составляющие параметры (например, элементы плана трассы, продольного профиля, дислокация, состав потока и т.д.) будут «дочерними» сетями самой автомобильной дороги, образующими иерархическую гиперсеть. Подобный гиперсетевой подход, обладающий исчерпывающим объемом исходных данных, позволит качественно и достоверно моделировать элементы дорожной сети, в том числе серпантины.

Таким образом, можно сделать вывод, что современные методы расчета серпантин представлены в технической литературе в виде графоаналитических и аналитических методов расчета, не имеют универсальности и не внедрены в программные комплексы. Учитывая необходимость развития сети дорог в горной местности для удовлетворения потребностей современного общества, вопрос оптимизации и облегчения процесса проектирования серпантин требует более масштабного изучения и вовлечения научного общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лопашук В.В.* Единый метод расчета и проектирования серпантин / Лопашук В.В., Лопашук А.В., Лопашук С.В. // Вестник Евразийской науки. 2020. Т. 12, № 5. URL: <https://esj.today/PDF/40SAVN520.pdf> (дата обращения 25.12.2023)
2. *Токтошов Г.Ы.* Методология выбора трасс для автомобильных дорог в горной лавиноопасной местности // Проблемы информатики. 2013. № 1 (18). С. 37-41. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-vybora-trassy-dlya-avtomobilnyh-dorog-v-gornoy-lavinoopasnoy-mestnosti/viewer> (дата обращения 25.12.2023)

ПРОЕКЦИОННЫЙ ПЕШЕХОДНЫЙ ПЕРЕХОД

А.Э. Баширова, Э.И. Каюмова

Научный руководитель – **Э.И. Каюмова**, ст. преподаватель

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Рассмотрен проекционный пешеходный переход (проекционная зебра), который является эффективным видом нанесения разметки за счёт IGP проектора. Этот вид нанесения не заменяет существующую разметку, а лишь дублирует её. 1-2 IGP проектора монтируются над пешеходным переходом или вблизи него. В конечном итоге получается яркая, чёткая, заметная издали проекция "зебры". Однозначно световая проекция выигрывает в сравнении с дорожной разметкой, которая наносится красками или пластиками за счёт яркости, видимости в любое время и при любых погодных условиях, долговечности и лучшего обеспечения безопасности.

Ключевые слова: проекционный пешеходный переход, проектор IGP, дорожная разметка, безопасность дорожного движения

PROJECTED PEDESTRIAN CROSSWALK

A.E. Bashirova, E.I. Kayumova

Scientific Supervisor – **E.I. Kayumova**, Teacher

Ufa State Petroleum Technical University

A projection pedestrian crosswalk (projection zebra) is considered, which is an effective type of marking due to the IGP projector. This type of application does not replace the existing marking, but only duplicates it. 1-2 IGP projectors are mounted above or near a pedestrian crossing. The result is a bright, clear, visible projection of the zebra from afar. Clearly, the light projection wins in comparison with road markings, which are applied with paints or plastics due to brightness, visibility at any time and under any weather conditions, durability and better.

Keywords: projection pedestrian crosswalk, IGP projector, road markings, road safety

Согласно статистике Научного центра безопасности дорожного движения МВД России за 9 месяцев 2023 года на вид ДТП - наезд на пешеходов приходится 24,4% всего количества ДТП, при этом почти половина из них (40,9%) наезд на детей. Подавляющее большинство этих

ДТП произошли в темное время суток [1]. В конце 2018 года, по решению правительства РФ, стартовал приоритетный национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги».

Одна из целей национального этого проекта — сделать пешеходные переходы максимально освещёнными и безопасными.

В рамках этого проекта реализуется ряд инновационных решений, одни из которых является проекционный пешеходный переход [2,3].

Пешеходные переходы оборудуются специальными устройствами для проекции дорожной разметки. В зависимости от ширины проезжей части над ней устанавливают светодиодные проекторы (но не более 1 проектора на две полосы движения), которые проецируют дорожную разметку 1.14.1 (пешеходный переход - «зебру»). Таким образом, создаётся световой коридор, который полностью дублирует «зебру». В момент, когда человек начинает движение по «зебре», включается подсветка, что позволяет привлечь внимание водителей, способствует водителям увидеть пешеходов за 150 метров до них. Для повышения безопасности на особо опасных участках за 50 метров до пешеходного перехода, возможно установить ещё один проектор, проецирующий на дорогу разметку 1.24.1, предупреждающий водителей заранее о приближении к пешеходному переходу.

Проекционный пешеходный переход не заменяет традиционный пешеходный переход, а работает совместно с ним.

Состав и схема установки комплекса представлены на рис. 1 и 2.

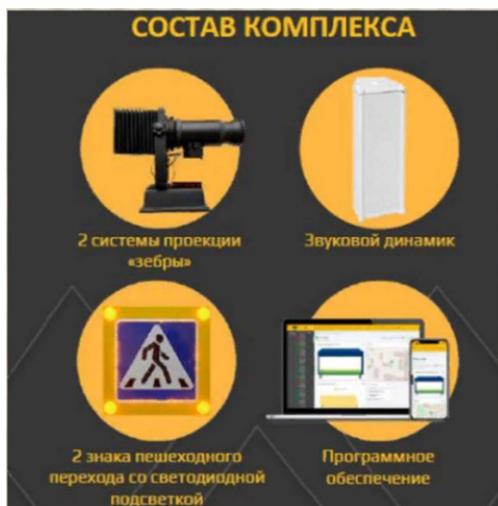


Рис. 1. Состав комплекса проекционной дорожной разметки



Рис. 2. Схема установки комплекса:

- 1 – проектор с усиленной подсветкой; 2 – предупреждение водителю;
3 – модуль (шкаф) управления; 4 – уличный светильник

В Республике Башкортостан еще в 2022 году в трех городах (Уфа, Нефтекамск, Стерлитамак) запущен пилотный проект по обустройству пешеходных переходов такими комплексами. В рамках пилотного проекта были установлены 14 таких комплексов, а в 2024 году планируется значительно увеличить их количество. Такие комплексы устанавливаются, в первую очередь, возле школ и социально-значимых объектов, а также на аварийно-опасных участках дорог.

Использование проекционного пешеходного перехода хорошо себя «зарекомендовало», потому что обладает рядом преимуществ:

- долговечна - проекция не стирается, не тускнеет, не загрязняется;
- видима и яркая в любое время и при любых погодных условиях - ее видно, даже в плохую погоду, когда на дороге снег, лужи, наледь, слякоть, яркость проекции не зависит от яркости и направления фар автомобилей.

Также увеличивается безопасность дорожного движения, так как проекция освещает пешехода и делает его более заметным [4] (рис. 3).



Рис. 3. Сравнение световой проекции с дорожной разметкой, нанесенной краской

Таким образом, проекционный пешеходный переход – это инновационное решение для обозначения пешеходных переходов, позволяющая повысить безопасность пешеходов и водителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитические обзоры 2023. URL: https://нцбдд.мвд.рф/dop_stranici
2. Проекционный пешеходный переход. URL: <https://igoboprojector.ru/bezopasnyye-dorogi>
3. Проекционный пешеходный переход от «Топ Проектор». URL: <https://top-proektor.ru/blog/proekcionnyj-peshehodnyj-perehod/>
4. Умный пешеходный переход: как это работает. URL: <https://auto.mail.ru/article/80908-umnyj-peshehodnyij-perehod-kak-eto-rabotaet/>

ТЕХНОЛОГИИ И ПРИМЕНЕНИЕ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Д.Н. Герасимова, Э.И. Каюмова

Научный руководитель – **Э.И. Каюмова**, ст. преподаватель

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Рассмотрена проблема влияния трещин на дорожном покрытии на качество и безопасность автомобильных дорог. Предложены инновационные методы устранения повреждений покрытий путем применения самовосстанавливающегося асфальтобетона.

Ключевые слова: дорожное покрытие, самовосстанавливающийся асфальтобетон

TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS OF SELF-HEALING ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS

D.N. Gerasimova, E.I. Kayumova

Scientific Supervisor – **E.I. Kayumova**, Teacher

Ufa State Petroleum Technical University

The issue of the impact of cracks on road surfaces on the quality and safety of highways is addressed. Innovative methods for repairing pavement damage through the use of self-healing asphalt concrete are proposed.

Keywords: road surface, self-healing asphalt concrete

Трещины, образующиеся на асфальтобетонном покрытии, оказывают значительное влияние на его прочность, надежность и срок службы (рис. 1). Они являются проблемой, которая требует регулярного обслуживания и ремонта, в некоторых случаях дорогостоящего и неэффективного.

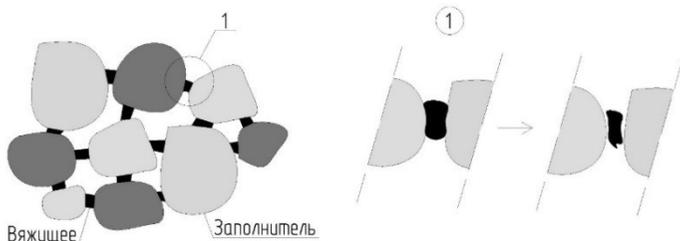


Рис. 1. Схема развития трещин асфальтобетонного покрытия

Российские и зарубежные ученые разрабатывают технологии, которые бы позволили повысить качество дорожных покрытий и снизить затраты на их ремонт. Самовосстанавливающийся асфальтобетон – это инновационный материал, способный автоматически ремонтировать свои повреждения без внешних вмешательств. Принцип работы самовосстанавливающегося покрытия основан на использовании специальных компонентов, обеспечивающих его способность к заживлению трещин и ям. Под воздействием различных факторов, таких как тепло, влага или давление, материал активизируется, заполняет повреждения и восстанавливает целостность дорожного покрытия.

Нидерландские инженеры разработали асфальтобетон, в состав которого входят стальные волокна. При образовании микротрещин покрытие нагревается индукционными машинами, вследствие чего разогретая сталь расплавляет битум, который заполняет трещины, фиксируя минеральный материал. Исследование показало, что при такой обработке покрытия с интервалом в 4 года срок службы автомобильной дороги продлевается до 20 лет. Стоимость нового покрытия будет выше на 25%, но она окажется выгоднее в средней перспективе. Технология была протестирована в Нидерландах на 400-метровом участке автомагистрали А58, откуда были взяты образцы, подвергнуты нагрузке, а затем восстановлены [1].

Другой способ предложили в Университете штата Луизиана, США. Суть технологии заключается в использовании микрокапсул, содержащих специальные смолы и реагенты, встроенных в структуру асфальта. Когда дорожное покрытие повреждается, например, из-за образования трещин, микрокапсулы лопаются под воздействием давления от проезжающих транспортных средств, освобождая содержащиеся в них материалы. Эти материалы заполняют трещины и затвердевают, восстанавливая целостность дорожного покрытия. Основные преимущества этой технологии включают улучшение долговечности дорожных покрытий, снижение необходимости в регулярном обслуживании и ремонте, а

также уменьшение затрат на дорожное строительство и обслуживание в долгосрочной перспективе [2].

Ученые российского НИТУ «МИСиС» разработали асфальтобетонную смесь, в которую были внедрены токопроводящие углеродные многостенные нанотрубки, которые обладают уникальными параметрами, определяющими их высокую индукционную восприимчивость. Для ликвидации трещин или выравнивания колеи применяется специальная мобильная установка, которая быстро разогревает слой покрытия, и катки для уплотнения покрытия. При нагревании нанотрубки будут приводиться в движение и затягивать образовавшиеся трещины. Разогрев происходит только тонкой битумной пленки, покрывающий каменные материалы, поэтому процесс происходит быстро и эффективно.

Стоимость таких асфальтобетонных смесей увеличивается незначительно, так как на 50 килограммов битума предлагается использовать всего 17 граммов нанотрубок [3].

С развитием технологий и увеличением интереса к устойчивым и инновационным материалам, самовосстанавливающийся асфальтобетон становится важным элементом современной дорожной инфраструктуры, который предупреждает образование дефектов дорожного покрытия и снижает риск возникновения дорожно-транспортных происшествий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dong Xiao*. State-of-the-art and prospect for self-healing asphalt concrete // AIP Conf. Proc. 3 August. 2017. 1864 (1): 020074. URL: <https://doi.org/10.1063/1.4992891>
2. *Aguirre Deras*. Micro-Encapsulation of Asphalt Rejuvenators using Melamine-Formaldehyde /Aguirre Deras, Max Abelardo // LSU Master's Theses. 2015. 463. URL: https://repository.lsu.edu/gradschool_theses/463
3. С помощью разработок НИТУ «МИСиС» построят «Шелковый путь». URL: <https://misis.ru/science/achievements/2017-07/4734/> (дата обращения: 14.03.2024).

УДК 625.7(470.316)

АНАЛИЗ ИНДИКАТОРОВ БЛАГОУСТРОЙСТВА И ОЗЕЛЕНЕНИЯ Г. ЯРОСЛАВЛЯ В СООТВЕТСТВИИ С ЦЕЛЯМИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

А.В. Калинин, О.В. Ладыгина

Научный руководитель – **О.В. Ладыгина**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается состояние объектов благоустройства г. Ярославля и их роль в обеспечении устойчивого развития города.

***Ключевые слова:** благоустройство, устойчивое развитие*

ANALYSIS OF IMPROVEMENT AND GREENING INDICATORS OF YAROSLAVL IN ACCORDANCE WITH SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

A.V. Kalinin, O.V. Ladygina

Scientific Supervisor - **O.V. Ladygina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article discusses the state of improvement facilities in the city of Yaroslavl and their role in ensuring the sustainable development of the city.

***Keywords:** improvement, sustainable development*

Устойчивое развитие (sustainable development) – концепция, зародившаяся в 1970–1980 годы на фоне признания мировым сообществом проблем развития общества и науки, ограниченности природных ресурсов и экологической обстановки. Под «устойчивым развитием» понимают экономический рост, который не наносит вреда окружающей среде, и способствует разрешению социальных проблем, находя баланс между экономическим, экологическим и социальным развитием [1]. Устойчивое развитие возможно при равновесии трех основных составляющих: экономический рост, социальная ответственность и экологический баланс. Согласно программному документу, принятому Организацией Объединенных наций в 2015 году – «Повестка дня в области устойчивого разви-

тия» [2], выделяется 17 целей устойчивого развития. Это ближайшие цели (до 2030 года), к которым нужно стремиться обществу, обозначающие основные проблемы, решением которых могут и должны озаботиться каждая страна и субъект в отдельности. Не все из них одинаково актуальны для разных частей мира, однако их достижение в целом позволит повысить качество жизни нынешних и будущих поколений.

Цель 11 в области устойчивого развития – устойчивые города и населенные пункты – предполагает обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов. Задачи в достижении данной цели: доступные, качественные, недорогие жилье и транспорт; сохранение культурного наследия, обеспечение доступных зеленых зон, в том числе для маломобильных и социально незащищенных групп населения; защита от загрязнения и снижение выбросов; защита от негативных природно-климатических факторов и др.

Таким образом, одним из факторов обеспечения устойчивого развития города является его благоустройство в широком смысле. В соответствии с СП 82.13330.2016 «Благоустройство территорий» благоустройство – комплекс мероприятий по инженерной подготовке к озеленению, устройству покрытий, освещению, размещению малых архитектурных форм и объектов монументального искусства, направленных на улучшение функционального, санитарного, экологического и эстетического состояния участка.

Текущим благоустройством города занимаются городские органы исполнительной власти. Муниципальная программа «Благоустройство и озеленение территории города Ярославля» [3] выделяет следующие целевые индикаторы (показатели):

1. Площадь содержания объектов озеленения;
2. Площадь содержания городских лесов;
3. Площадь территории пляжей города, находящихся на содержании;
4. Площадь цветочного оформления города;
5. Количество урн, установленных на озелененных территориях;
6. Доля территорий, не вошедших в титульные списки территорий города, на которых выполнены мероприятия по содержанию и благоустройству;
7. Количество объектов внешнего благоустройства, на которых выполнены работы по ремонту.
8. Количество установленных многофункциональных спортивно-игровых комплексов;
9. Количество спиленных деревьев на титульных объектах зеленого хозяйства;
10. Обеспеченность жителей города зелеными насаждениями общего пользования в расчете на жителя;

11. Количество улиц/дворовых территорий, на которых выполнен капитальный ремонт наружного освещения;
12. Площадь покрытия детских и спортивных площадок;
13. Общий объем потребления электрической энергии по улично-му освещению;
14. Количество осветительных устройств в сети уличного освещения, находящихся на содержании;
15. Протяженность сетей ливневой канализации, находящейся в муниципальной собственности;
16. Количество фонтанов и стационарных общественных туалетов, находящихся на содержании;
17. Количество обустроенных и восстановленных воинских захоронений;
18. Площадь территории, на которой организована борьба с борщевиком Сосновского.

Основные цели:

1. Улучшение экологической обстановки и создание среды, комфортной для проживания жителей города, совершенствование эстетического состояния городских территорий, улучшение качества существующих зеленых зон;
2. Создание благоприятных условий для отдыха и проживания горожан;
3. Повышение уровня обустройства территории города.

Анализируя состав индикаторов благоустройства г. Ярославля в части озеленения, можно отметить, что они в целом соответствуют задачам цели 11 в области устойчивого развития, в первую очередь по обеспечению доступных зеленых зон для населения. Между тем в фактическом состоянии системы озеленения города можно выделить ряд проблем:

1. Большинство древесных насаждений города – старовозрастные, поврежденные заболеваниями, неправильным кронированием, а также средствами механизации при уборке снега. Количество деревьев, спиленных в городе за 2020 г. в соответствии с [3] – 1719, ежегодный план на 2021-2023 г. – 812 шт. в год (фактические данные не установлены). При этом индикаторов по высадке новых деревьев не предусмотрено. Наблюдения показывают, что новые деревья высаживаются в виде единичных экземпляров, преимущественно в центральной части города;

2. Планом заложен рост обеспеченности жителей города зелеными насаждениями общего пользования с 10,5 м² в 2020 г. до 11,4 м² в 2023 г., однако площадь содержания объектов озеленения по годам остается неизменной. Отсюда можно сделать вывод, что фактически рост показателя обеспечивается не за счет создания новых зеленых зон, а по причине естественной убыли населения.

3. Значительные площади городских территорий заняты рудеральной растительностью и опасными инвазивными видами, такими как борщевик Сосновского и клен ясенелистный. Преимущественно такая растительность захватывает неблагоустроенные, заброшенные участки. Эффективная борьба с ними должна обеспечиваться комплексными мерами, включающими не только химическое и механическое уничтожение растений, предусмотренное муниципальной программой, но и оздоровление почвы и благоустройство освобожденного участка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Что такое концепция устойчивого развития и почему крупному бизнесу стоит обратить на нее внимание? URL: <https://globalccm.com/sustainabledevelopment> (дата обращения 22.02.2024 г.)
2. Официальный сайт ООН. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (дата обращения 22.02.2024 г.)
3. Постановление Мэрии города Ярославля № 1136 от 16.12.2021 «О внесении изменений в муниципальную программу «Благоустройство и озеленение территории города Ярославля» на 2021–2023 годы». URL: <https://static.city-news.ru/iblock/ab6/1136.pdf/> (дата обращения 22.02.2024 г.)

НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗВИТИЯ МАЛЫХ ГОРОДОВ

А.А. Моисеев, О.В. Ладыгина

Научный руководитель – **О.В. Ладыгина**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются причины необходимости развития малых городов на примере Российской Федерации.

Ключевые слова: *малые города, развитие территорий, уровень жизни, устойчивое развитие*

THE NEED FOR SMALL TOWN DEVELOPMENT

A.A Moiseev, O.V. Ladygina

Scientific Supervisor – **O.V. Ladygina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The reasons for the need for the development of small towns are considered using the example of the Russian Federation.

Keywords: *small towns, territorial development, standard of living, sustainable development*

В последние годы в информационном пространстве все более активно ведутся рассуждения о важности малых городов во многих аспектах жизни общества и государства. Последние три десятилетия малые города России испытывают серьезный спад уровня развития и уровня жизни населения.

Между тем Президент России В.В. Путин в Послании Президента Федеральному Собранию от 2018 года поставил задачу – «развернуть масштабную программу пространственного развития России, включая развитие городов и других населённых пунктов» [1]. На сегодняшний день количество малых городов (с населением до 50 тыс. человек) в России насчитывается около 800, а это значит, что поставленная президентом задача не может не распространяться на такую многообразную категорию поселений, как малые города и ПГТ.

Развивая малые города, можно, а точнее, нужно достичь определенных целей, наиболее важные из них это:

1. Повышение социальной и экономической стабильности. На сегодняшний день около 15% населения России живет в малых городах. Стоит учитывать, что реальное число людей, зависящих от уровня развития малых городов, несколько больше по причине сильной зависимости от малого города, часто выступающего в роли районного центра, близлежащий к нему сельских поселений, рабочих и иных поселков. Социальная и экономическая обеспеченность связанных с малыми городами граждан напрямую зависит от создания новых рабочих мест, экономического развития города, создания и развития инфраструктуры, развития образования и здравоохранения.

2. Улучшение демографических показателей. В мире, где урбанизация становится все более значимым фактором, оздоровление и прирост населения в малых городах имеет прямое отражение на общем состоянии и благосостоянии страны в целом. Более низкие цены на недвижимость, продукты питания и услуги сделают малые города более привлекательными для людей, особенно для семей с детьми. Появление новых школ, больниц, магазинов, торговых центров, парков и спортивных объектов сделает малые города привлекательными для растущих семей.

3. Развитие территорий страны. Значительная часть малых городов в настоящее время выступает в роли «форпостов» государства, обеспечивая контроль обширной российской территории и единство административных связей в масштабах всей страны. Развитие сети малых городов позволяет снизить перегрузку и напряжение на инфраструктуру крупных городов, таких как дороги, системы общественного транспорта, энергия, водоснабжение, и способствует более эффективному использованию ресурсов. Для обеспечения существования малых городов создаются объекты транспортной, инженерной, энергетической и другой важной инфраструктуры, создание которых повышает общий уровень устойчивости этих систем и сетей всей территории страны и предотвращает концентрацию ресурсов в одном месте.

4. Равномерное распределение населения. Развитие малых городов играет важную роль в достижении более равномерного распределения населения в стране. Во многих случаях сосредоточение населения в крупных мегаполисах является проблемой, которая приводит к неравномерному экономическому развитию, социальным и экологическим проблемам. Развитие малых городов способствует равномерному распределению населения, так как предлагает жителям возможность наслаждаться благами крупных городов, таких как культурные мероприятия, магазины, рестораны и здравоохранение, без необходимости переезда в средние и крупные города (рис. 1).

Вокруг крупных городов образуется зона **прироста населения**.
 В других районах **численность населения снижается**

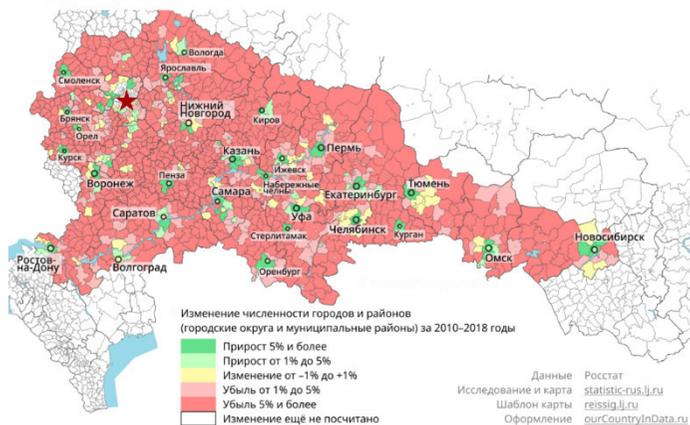


Рис. 1. Изменение численности населения некоторых территорий России – увеличение в средних и крупных городах и снижение на остальной территории [3]

5. Сохранение и развитие культуры и истории народов. Малые города часто имеют богатое культурное наследие, связанное с историей и традициями этой местности. В таких городах часто происходит распространение и продолжение уникальных культурных практик, которые передаются из поколения в поколение. Развитие и поддержка малых городов способствует сохранению и передаче культурного наследия следующим поколениям, способствует сохранению местных традиций и обычаев.

6. Расширение возможностей для бизнеса. Малые города обычно имеют более низкие затраты на жизнеобеспечение, включая аренду помещений, транспорт и трудовые ресурсы. Это позволяет предпринимателям сэкономить значительные средства и распределить их на другие цели, такие как оборудование, маркетинг и развитие бизнеса. В малых городах часто более ограниченная конкуренция. Малые города часто имеют уникальные потребности и ниши, которые могут быть успешно использованы для бизнеса

Повышение уровня привлекательности малых городов в аспекте инфраструктурного развития заключается в повышении качества транспортной инфраструктуры и её развития в целом. Комфортная и быстрая транспортная связь определяет, с какой скоростью бизнес будет приходить в малый город и насколько быстро будут оказываться услуги, насколько возможны рабочие поездки на различные предприятия, насколько доступна будет социальная инфраструктура.

Для развития малых городов в аспекте территориального планирования следует руководствоваться принципами устойчивого развития. Это подразумевает баланс между экономическим развитием, экологической устойчивостью и социальным благополучием. Городское планирование должно способствовать стимуляции и укреплению социальных связей, посредством создания смешанной квартальной малоэтажной застройки, иметь дальность планирования новых объектов на несколько поколений вперед, уделять особое внимание благоустройству и гармоничному соседству с живой природой, проводить планировку интересной и привлекательной с точки зрения архитектуры и культуры, заботиться о комфорте и высоком уровне городского пространства.

Для действенной реализации мер в масштабах страны необходимы серьезные изменения, например, провести дифференциацию уровней политики территориального развития на несколько категорий (малые города отдельно от больших и средних городов, сельские поселения отдельно от малых городов), утвердить ограничения роста больших городов, принять новые национальные проекты, направленные исключительно на малые города, расширение полномочий местных муниципалитетов.

Однако развитие может быть достигнуто и в нынешних условиях при правильном и, что более важно, планомерном развитии малого города, при долгосрочном планировании и следованию плану. Залог развития – это стабильное следование качественному плану, ибо даже при большом объеме ресурсов, но без четкого и обдуманного плана, средства могут быть потрачены с большими издержками и не дать должного результата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Путин В.В. Послание Президента России Федеральному Собранию. 1 марта 2018 г. // Официальный сайт Президента России. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/56957> (дата обращения 14.01.2024)
2. Итоги ВПН-2020. Т. 1. Численность и размещение населения. Табл. 10 // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://clck.ru/39EnaW> (дата обращения: 05.03.2024);
3. Миф о том, что Россия стягивается в Москву // Россия в данных ourcountryindata.ru. URL: <https://ourcountryindata.ru/mif-o-tom-chto-rossiya-styagivaetsya-v-moskvu/> (дата обращения: 05.03.2024)

**СОВМЕЩЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ТРАМВАЕВ
И АВТОМОБИЛЕЙ КАК ОПТИМАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ
ДЛЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ ГОРОДОВ
НА ПРИМЕРЕ г. ЯРОСЛАВЛЯ**

А.А. Пасхина, О.В. Ладыгина

Научный руководитель – **О.В. Ладыгина**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается городская трамвайная сеть и организация дорожного движения с участием трамваев. Изучаются различные типы расположения трамвайного полотна, их достоинства и недостатки. Совмещенное трамвайное полотно в условиях плотной застройки для сохранения культурного и исторического облика.

Ключевые слова: трамвайное движение, совмещенное полотно, организация дорожного движения

**THE COMMON CORRIDOR FOR TRAMS
AND CARS AS AN OPTIMAL SOLUTION
FOR HISTORICAL CITY CENTRES ON THE EXAMPLE
OF THE CITY OF YAROSLAVL**

A.A. Paskhina, O.V. Ladygina

Scientific Supervisor – **O.V. Ladygina**, Candidate of Technical,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Urban tramway network and organization of road traffic involving streetcars are considered. Different types of tramway layout, their advantages and disadvantages are studied. Combined tramway in the conditions of dense buildings for the preservation of cultural and historical appearance.

Keywords: tram traffic, combined right-of-way, traffic organization

Организация дорожного движения является важным и неотъемлемым вопросом каждого города нашей страны. В большинстве городов, а особенно в их исторических центрах, складывается сложная паутина высоко нагруженных улиц: растет уровень автомобилизации населения и

повышается интенсивность движения транспорта. Вследствие этого в условиях тесной застройки пропускная способность улиц исчерпывается. Подобные обстоятельства требуют решения сложных задач, связанных с грамотной организацией движения личного и общественного транспорта, пешеходного движения, размещением мест остановки общественного транспорта и парковочного пространства. Такая непростая картина городской среды может сопровождаться трамвайным движением на улицах городов: с одной стороны это ведёт к усложнению организации движения всего транспорта, но с другой стороны – даёт дополнительные возможности по перевозке пассажиропотоков, а также сохраняет культурный и исторический облик городов.

В тяжелых условиях обветшания контактных сетей и подвижных составов, отсутствия финансирования на содержание и обновление в начале 2000-х годов в России трамвайное движение стало активно исчезать с улиц многих городов (Воронеж, Тверь, Рязань, Астрахань, Иваново, Архангельск) [1]. Ярославлю посчастливилось не оказаться в этом списке.

Ярославская трамвайная система одна из старейших в нашей стране и первая на территории Золотого кольца России, функционирует с 1900 года [2]. За свою историю Ярославский трамвай претерпевал множественные этапы как развития, так и кризисных моментов. В настоящее время вопрос организации трамвайного движения вновь актуален. Руководством города выбран вектор по сохранению существующего трамвайного движения и реконструкции контактных сетей и трамвайных путей, заключено концессионное соглашение о создании и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры и технологически связанных с ними транспортных средств, обеспечивающих деятельность, связанную с перевозками пассажиров транспортом общего пользования, в муниципальном образовании городской округ город Ярославль в Ярославской области между Ярославской областью и обществом с ограниченной ответственностью «МОВИСТА РЕГИОНЫ Ярославль» [3]. Трамвайное движение имеет ряд преимуществ, таких как экологичность, безопасность, высокая провозная способность и эксплуатационная скорость.

Согласно актуальной документации, можно выделить три типа движения трамваев относительно автомобильного транспорта:

- а) изолированное трамвайное полотно сбоку от проезжей части,
- б) изолированное трамвайное полотно посередине проезжей части,
- в) совмещенное движение трамваев и автомобилей.

У каждого из приведенных выше типов движения есть свои преимущества и недостатки. Трамвайное полотно, расположенное по центру проезжей части, находится дальше от домов, что при строительстве упрощает возможность выдерживания нормативов, не требуется вырубка деревьев и др. Располагая трамвайное полотно с края от проезжей части,

возникает проблема с выдержкой нормативных радиусов поворота (не менее 15 метров для наружного трамвайного рельса), но при этом данный тип расположения трамвайного полотна обладает неоспоримым преимуществом, поскольку оказывает минимальное влияние на движение колесного транспорта. Совмещенное движение значительно осложняет движение транспорта, но является единственно возможным в условиях организации движения обоих видов транспорта на узких участках уличной дорожной сети.

Согласно СП 98.13330.2018 «Свод правил. Трамвайные и троллейбусные линии» предпочтительными видами размещения являются обособленные виды, а при отсутствии других возможностей – допускается размещение на совмещенном полотне с обязательной разработкой мероприятий по организации дорожного движения, препятствующих созданию заторов, парковке транспортных средств на трамвайных путях и другим возможным причинам задержки движения трамвая [4].

Совмещенный тип движения весьма актуален в организации движения транспорта в исторических центрах Москвы и Санкт-Петербурга. Отличительной чертой трамвайных путей в городе Ярославле является расположение их на обособленном путевом полотне, за редким исключением, пересекающегося с автотранспортом [2]. Трамвайная сеть Ярославля пролегает в том числе и по исторической части города в условиях дефицита места для размещения полноценной широкой проезжей части, высокой стоимости земельных участков, расположения путей рядом с жилыми зданиями и др. Стоит отметить, что в Ярославле на данный момент совмещенная схема движения не представлена, но могла бы решить ряд обозначенных проблем и благоприятно сказаться на транспортной системе города в целом, сохранив исторический облик города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Как трамвайное движение возвращается в российские регионы // Сайт Российской газета. URL: <https://rg.ru/2024/02/29/reg-sibfo/vagonchik-tronulsia.html> (дата обращения: 14.03.2024)
2. Герасимов Д.В. Перспективы развития сети трамвайного движения города Ярославля // КиберЛенинка: научная электронная библиотека. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-seti-tramvaynogo-dvizeniya-goroda-yaroslavlya> (дата обращения 14.03.2024)
3. Официальный сайт Ярославской областной Думы: Ярославль, 2024. URL: <http://www.yarduma.ru/activity/projects/230245> (дата обращения 14.03.2024)
4. Трамвайные и троллейбусные линии (СП 98.13330.2018): Свод правил: утв. приказом М-ва стр-ва и жилищно-комму. хоз-ва Российской Федерации от 20 нояб. 2018 г. № 735/пр. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403220> (дата обращения: 14.03.2024)

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ИССЛЕДОВАНИИ
АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКУЮ
ОБСТАНОВКУ ГОРОДА УГЛИЧ**

В.А. Шилов, О.В. Ладыгина

Научный руководитель – **О.В. Ладыгина**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Цель исследования состоит в анализе геоэкологических проблем, связанных с транспортной инфраструктурой, а также в оценке возможных путей их решения с использованием современных технологий. Особое внимание уделяется применению геоинформационных систем (ГИС) в анализе влияния транспортной инфраструктуры на окружающую среду.

***Ключевые слова:** геоэкологический анализ, транспортная инфраструктура, ГИС-технологии*

**THE USE OF GIS TECHNOLOGIES IN THE STUDY
OF THE ANTHROPOGENIC IMPACT OF TRANSPORT
INFRASTRUCTURE ON THE GEOECOLOGICAL
ENVIRONMENT OF THE CITY OF UGLICH**

V.A. Shilov, O.V. Ladygina

Scientific Supervisor – **О.В. Ладыгина**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The purpose of the study is to analyze geoecological problems related to transport infrastructure, as well as to assess possible ways to solve them using modern technologies. Special attention is paid to the use of geographic information systems (GIS) in the analysis of the impact of transport infrastructure on the environment.

***Keywords:** geoecological analysis, transport infrastructure, GIS technologies*

В условиях современного мира, где урбанизация и транспортная активность имеют прогрессирующее увеличение, вопросы защиты окружающей среды становятся все более актуальными. Транспортная инфра-

структура играет ключевую роль в жизни городов и населенных пунктов, обеспечивая мобильность и связь различных территорий. Однако, рабочие процессы техногенных систем оказывает значительное воздействие на окружающую среду, вызывая ряд геоэкологических проблем.

Использование ГИС-технологий позволяет не только эффективно анализировать проблемы взаимодействия транспортной инфраструктуры с окружающей средой, но и предоставляет инструменты для разработки мероприятий по их решению. Объединение объектных пространственных данных и информации об экологических характеристиках территории создает возможности для более глубокого понимания взаимосвязей между техническими процессами и антропогенными изменениями природных ландшафтов, что способствует разработке целенаправленных стратегий устранения негативных последствий [1, 2]. Уникальность геоинформационных систем (ГИС) проявляется в способности выявлять системные особенности транспортно-экологических систем даже в экстремальных режимах и создавать новые информационные модели для мониторинга окружающей среды. Оригинальность научно-методического подхода с применением ГИС-моделирования проявляется в учете специфических параметров и характеристик транспортно-экологических систем (топографии, климатических и метеорологических условий, особенностей градостроительства, типов и состава транспортных средств, их технического состояния, используемого топлива, интенсивности движения и прочего) для прогнозирования условий и последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросами вредных веществ отработавших газов в атмосферу вблизи городских автомагистралей [1] (рис. 1).



Рис. 1. Распределение слоев в среде ГИС [1]

Воздействие автомагистралей на окружающую среду имеет различные формы: выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от передвижных и стационарных источников, загрязнение, поверхностных вод и почв, образование и накопление твердых отходов, увеличение уровня шума. Кроме того, традиционные методы строительства и эксплуатации

автомобильных дорог создают негативные природные процессы и явления, такие как эрозия и оползни, а также способствуют заболачиванию территорий и другим нежелательным изменениям. Поэтому важно обеспечивать экологическую безопасность автомобильных дорог и минимизировать их воздействие на природные экосистемы на смежных территориях [3].

В настоящем исследовании выявляются основные геоэкологические проблемы транспортной инфраструктуры в Угличском муниципальном районе и городском поселении Углич, а также предлагаются практические рекомендации для их решения на основе анализа данных, полученных с использованием ГИС-технологий.

Угличский муниципальный район (рис. 2), расположенный на западе-юго-западе Ярославской области, имеет общую площадь 256 833 га и в нем проживает 44 649 человек населения (включая 31 758 человек в городе Угличе) [3]. Среднегодовая температура воздуха составляет 3,2 °С, среднегодовое количество осадков – 600–700 мм.

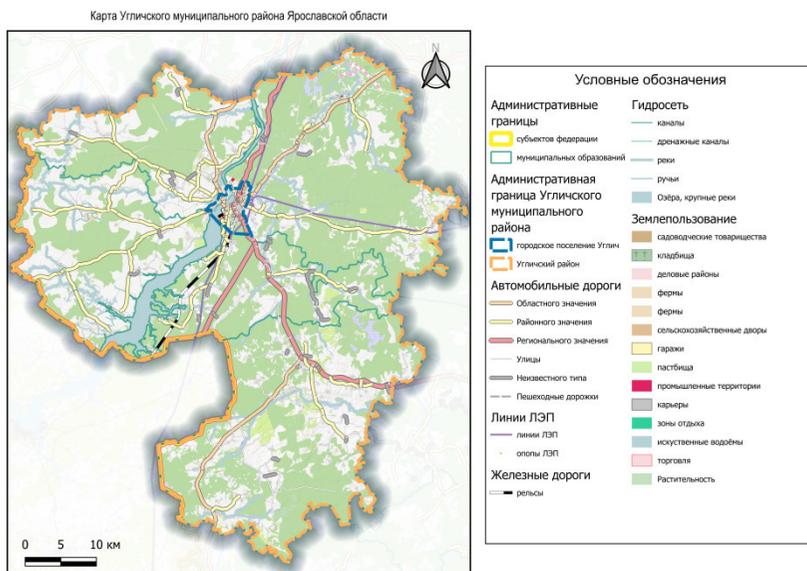


Рис. 2. Оцифрованная карта Угличского муниципального района Ярославской области

По административно-территориальному делению муниципальный район включает город Углич и 5 сельских поселений с общим числом населенных пунктов – 500. Экономическую базу образуют предприятия обрабатывающей промышленности, транспорта, строительства, жилищ-

но-коммунального хозяйства. Месторождения торфа, песка, гравия и минеральных вод также присутствуют. Район обеспечен образовательными и медицинскими учреждениями: 28 школ, 12 детских садов, 8 учреждений дополнительного образования, 2 больницы, 3 амбулатории врачей общей практики, 36 фельдшерско-акушерских пунктов. Административным центром является город Углич (рис. 3).

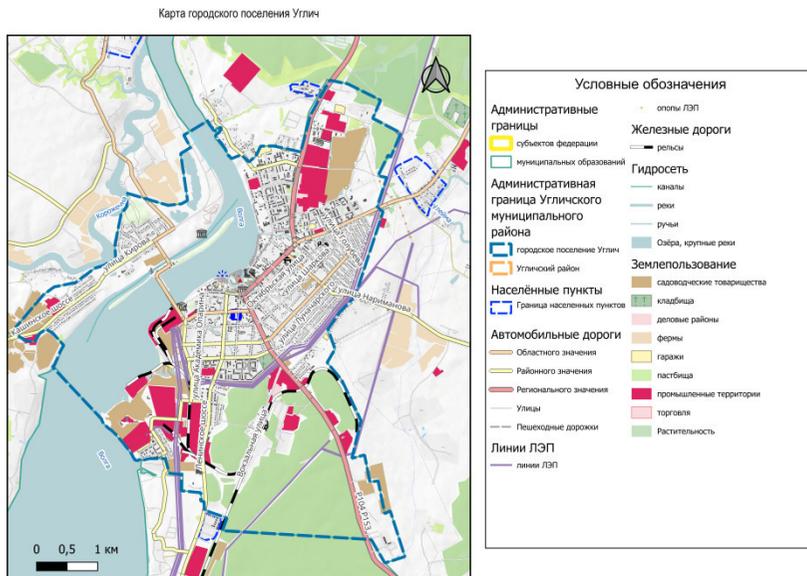


Рис. 3. Геоэкологический анализ городского поселения Углич с применением ГИС-технологий

Город Углич расположен на обоих берегах реки Волги, в районе плотины Угличской ГЭС. Ширина реки в городе составляет 0,5-1,6 км, глубина – 10-15 м, скорость течения – 0,2-0,3 м/с, а среднегодовой расход – 429 м³/с. Угличский гидроузел включает земляную и железобетонную плотины, здание ГЭС и судоходный шлюз. Город находится на разных уровнях нижнего и верхнего бьефов Угличского водохранилища и Рыбинского водохранилища. Правый берег в районе города крутой (15 м), а левый – пологий (3-4 м) с песчаным и галечным дном соответственно. Весеннее половодье начинается в конце апреля, достигая максимума через 30-40 дней. В это время территория города не затопляется, за исключением отдельных строений на левом берегу.

Ключевую роль в транспортной инфраструктуре городского поселения Углич занимают автомобильные дороги, обеспечивая внутренние,

межрайонные и федеральные связи, включая участок дороги «Сергиев Посад - Череповец» с интенсивностью движения 3310 авт./сут [2, 3]. По ним осуществляются перевозки грузов и пассажиров, что делает их важным элементом социальной и производственной инфраструктуры города, оказывая влияние на экономический рост, конкурентоспособность местных производителей и качество жизни жителей.

В то же время транспортная инфраструктура является одним из главных источников загрязнения окружающей среды Угличского муниципального района и городского поселения Углич.

Главной причиной загрязнения окружающей среды является непрерывное увеличение интенсивности дорожного движения при отсутствии инженерных защитных сооружений. Горюче-смазочные материалы, продукты износа автомобильных шин, тормозных механизмов и применение устаревших противогололедных материалов при зимнем содержании дорог приводят к значительному загрязнению придорожных полос и водных ресурсов на прилегающей территории и появлению экологически небезопасной обстановки. Так как на указанной территории большую площадь занимают объекты аграрного и растительного комплексов, продукты их производства подвергаются вредному воздействию и становятся носителями ряда канцерогенных веществ. На такой местности недопустимо выращивание здесь овощей, фруктов и скашивание травы на корм скоту.

Таким образом, одним из направлений науки является прикладное исследование и разработка современных методик по снижению негативного влияния транспортной инфраструктуры на геоэкологическую среду, в том числе применения новых технологий в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог и расширение использования альтернативных источников энергии на транспорте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тарасова О.Ю.* Геоэкологические аспекты проектирования автомобильных дорог / О.Ю.Тарасова, С.А. Москалева, А.В Ларина // Современные проблемы территориального развития: электрон. журн. 2018. № 2.
2. *Назаров Н.Г.* Экологическая оценка территории: учебно-методическое пособие по дисциплине «Экологическая оценка территории» / Н.Г. Назаров, О.В. Палагушкина. Казань: КФУ, 2023. 46 с.
3. Территориальный орган Федеральной службы статистики по Ярославской области. URL: <https://76.rosstat.gov.ru/?ysclid=ltv8yieish731914> (17.01.2024)

ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Р.Д. Половченя, Д.В. Лебедев

Научный руководитель – **Д.В. Лебедев**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Авторами статьи был затронут вопрос о возможности использования в современном строительстве строительного лома от сноса аварийных объектов старого фонда гражданского и промышленного строительства. Щебень, полученный от дробления бетонных конструкций, представляет собой вторичный продукт, остающийся после сноса зданий и отбраковки железобетонных изделий. В статье рассматривается возможность использования продуктов вторичной переработки для устройства дорожных оснований с неинтенсивным движением.

Ключевые слова: автомобильные дороги, дорожное строительство, щебень, бетонный щебень, категория дорог

ENVIRONMENTAL SAFETY IN ROAD CONSTRUCTION

R.D. Polovchenya, D.V. Lebedev

Scientific Supervisor – **D.V. Lebedev**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

The authors of the article raised the question of the possibility of using construction waste from the demolition of emergency facilities of old civil and industrial construction in modern construction. Crushed stone from the demolition of concrete structures is a secondary product left after the demolition of buildings and the rejection of reinforced concrete products. The article considers the possibility of using recycled products for the construction of road bases with non-intensive traffic.

Keywords: highways, road construction, crushed stone, concrete crushed stone, road category

Автомобильные дороги – это часть транспортной инфраструктуры, предназначенная для движения колёсных транспортных средств. Дороги играют важнейшую роль в развитии страны. В настоящее время одним из ведущих направлений в дорожном строительстве является повышение

экологичности и качества дорожного строительства при снижении стоимости работ.

В Российской Федерации существует национальный стандарт [1], в котором приведена классификация автомобильных дорог общего пользования. Выделяется 5 категорий автомобильных дорог. Одним из важных параметров инфраструктурного развития и планирования дорожной сети при строительстве и ремонте является интенсивность движения. Рассмотрим категории дорог и предъявляемые к ним требования. Дорогам класса «автомагистраль», с установленной I категорией, характерна интенсивность движения в районе 12000 автомобилей в сутки. В этом случае толщина щебеночного основания должна составлять 300 мм. Ко II категории дорог относят дороги не скоростного типа, как федеральные, так и региональные, с интенсивностью движения свыше 6000 автомобилей в сутки. Толщина щебеночного основания таких дорог должна составлять 200 мм. К III категории относят дороги регионального значения, интенсивность движения от 2000 до 6000 автомобилей в сутки, толщина щебеночного основания должна составлять 180 мм. К IV и V категории относятся дороги местного хозяйственного и административного значения. Для IV категории интенсивность движения может составлять от 200 до 2000 автомобилей в сутки. Требования к толщине щебеночного основания – 160 мм. Для V категории с интенсивность движения 200 автомобилей в сутки толщина щебеночного основания должна составлять 140 мм.

Дорожное строительство потребляет большое количество природных ресурсов. Так, при возведении 1 километра дороги требуется:

- для дорожного покрытия необходимо 2500 тонн асфальтобетона;
- для щебеночного основания необходимо 3000 м³ щебня;
- для песчано-подстилающего слоя необходимо 2400 м³ песка;
- для земляного полотна необходимо 30000 м³ грунта.

Закономерной тенденцией является замена части природных ресурсов на ресурсы, получаемые в результате применения технологии повторного использования строительных материалов. Это позволяет снизить стоимость строительства и уменьшить воздействие антропогенного и техногенного фактора на окружающую среду.

Сокращение производства дорожных строительных материалов и повышение эффективности их использования остается главной проблемой. Исследования показали, что одним из решений этой проблемы является применение ресурсов вторичной переработки. Это решает вопрос оптимизации стоимости строительства. Однако вторичные материалы должны использоваться таким образом, чтобы не допускалось ухудшение качественных конструкционно-технологических и экологических характеристик автомобильных дорог.

Один из возможных источников вторичных строительных материалов – это аварийные объекты старого фонда гражданского и промышленного строительства. При сносе и демонтаже аварийных зданий и зданий, у которых заканчивается срок эксплуатации, можно получать бетон и железобетон, которые в обычной практике являются отходами строительного производства и подлежат утилизации. С применением технологий использования вторично переработанных строительных материалов можно получить материал для объектов нового дорожного строительства. Так, из получившихся бетонных обломков убираются все примеси. Затем обломки поступают в дробильный комплекс, измельчаются и делятся на нужные фракции [2]. Всего существует три фракции:

- щебень размером 5-20 мм подходит для изготовления бетонных смесей, бордюрных камней, а также изготовление тротуарной плитки;
- щебень размером 20-40 мм подходит для строительства дорог с малоинтенсивным движением, обустройства дренажных систем грунтов, при укреплении траншей;
- щебень размером 40-70 мм подходит для обустройства и облагораживания территорий.

Для строительства автомобильных дорог чаще всего используют щебень фракции 20-40 мм.

В ходе испытаний и лабораторных исследований было доказано, что щебень, полученный из бетона и железобетона, имеет морозостойкость F-100 и обладает показателем прочности M-600 [3]. Что соответствует известняковому щебню. Соответственно допустимо и применение такого материала в ряде автомобильных дорог. В табл. 1 приведены требования к щебню для различных категорий дорог по критериям прочности и морозостойкости.

Таблица 1. Характеристики щебня для различных категорий дорог

Категория дороги	Морозостойкость щебня	Прочность щебня
I	300F	M1200
II	200-300F	M1000-12000
III	150-200F	M800-1000
IV	100-150F	M600-800
V	100-150F	M600-800

Исходя из данных табл. 1, бетонный щебень соответствует характеристикам в качестве используемого материала дорожного основания для IV и V категории дорог.

Существуют преимущества и недостатки технологии применения бетонного щебня. Положительной стороной является низкая стоимость – цена на такой щебень примерно в два раза ниже, чем на природный. Без-

условным преимуществом так же является его экологичность – повторная переработка материалов позволяет не нарушать экологическую обстановку.

Недостатками являются невысокая прочность и морозостойкость, что сказывается на узкой области применения щебня.

Тем не менее использование материалов вторичной переработки, таких как бетонный щебень, с целью снижения стоимости строительства, является прогрессивной практикой в дорожном строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 52398-2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2006-05-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. Москва: Стандартинформ, 2006. 4 с.
2. Возможность замены природного щебня и гравия вторичным сырьем при строительстве и ремонте дорог / А.Г. Губская, А.П. Гапотченко, К.С. Сенатова, Л.П. Олецкая // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение. Материалы Международной научно-технической конференции. М.: Белорусский национальный технический университет, 2020. С. 227-234.
3. Вторичное использование в дорожном строительстве щебня полученного из дробленого бетона / М.И. Романенко, И.И. Романенко, И.Н. Петровнина, Э.М. Пинт, К.А. Еличев // Вестник евразийской науки. 2015. Т. 7. 14 с.
5. ГОСТ 3344-83. Технические условия. Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства: межгосударственный стандарт: дата введения 1985-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. Москва: Стандартинформ, 2007. 11 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОГ

Е.А. Веревкина, Д.В. Лебедев

Научный руководитель – **Д.В. Лебедев**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

В статье описаны экологические аспекты строительства автомобильных дорог. Рассмотрены этапы и процессы дорожного строительства. Проведён анализ требований по природоохранным мероприятиям. Сформулирован перечень мер для обеспечения охраны окружающей среды и создания более экологически чистой среды при организации и ведении строительных и ремонтных дорожных работ.

Ключевые слова: строительство дорог, экологическая безопасность, загрязнение, технологические процессы, окружающая среда

ENVIRONMENTAL SAFETY IN ROAD CONSTRUCTION

E.A. Verevkina, D.V. Lebedev

Scientific Supervisor – **D.V. Lebedev**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

The article describes the environmental aspects of highway construction. The stages and processes of road construction are considered. An analysis of the requirements for environmental protection measures has been carried out. A list of measures has been formulated to ensure environmental protection and create a more environmentally friendly environment when organizing and conducting construction and repair road works.

Keywords: road construction, environmental safety, pollution, technological processes, environment

Во время ремонтных и строительных работ, проводимых на объектах дорожного строительства, возникает значительное загрязнение окружающей среды, связанное как с подготовкой местности, так и с выполнением работ. Это создает экологическую опасность. Выполнение ряда требований и внедрение природоохранных мероприятий при проектиро-

вании и строительстве дорог может нивелировать часть из них, либо повлиять на снижение загрязнений.

Существуют технологические процессы, негативно влияют на компоненты окружающей среды, которые носят временный характер. Длительность их воздействия зависит от продолжительности строительства или ремонта автодорог. К ним относятся:

- использование недр;
- строительное производство;
- утилизация отходов производства.

Эти процессы сопровождаются факторами загрязнения окружающей среды, такими как загрязнения от машин и работающей техники, а также загрязнения отходами строительного производства[1].

Автомобильные дороги оказывают влияние на окружающую среду, особенно в отношении загрязнения транспортом и использования земель. Обеспечение экологической безопасности является важным фактором при проектировании, строительстве и эксплуатации дорог и считается одним из основных критериев эффективности в дорожном строительстве.

Экологически безопасное состояние дорог характеризуется следующими показателями[3]:

- техническое состояние дорог и дорожных сооружений;
- экологическое состояние придорожной полосы;
- влияние дорожных факторов на выбросы вредных веществ автомобильным транспортом.

В своде правил по проектированию и строительству автомобильных дорог СП 34.13330.2021 обозначены общие требования к проектным и техническим решениям, с учётом минимизации влияния на окружающую среду. Контроль должен осуществляться на каждом из основных этапов, а именно:

1. Исследования, расчеты и проектирование;
2. Подготовка местности;
3. Сооружение дорожной подушки;
4. Укладка асфальта;
5. Благоустройство территории.

Производимые работы осуществляются в соответствии с санитарными нормами, стандартами, правилами и условиями природопользования. Муниципальные органы экологического управления отвечают за согласование объектов строительства [2]. Перечень обеспечивающих мероприятий приведён в табл. 1.

Таблица 1. Природоохранные мероприятия при планировке и строительстве автомобильных дорог [4]

Аспекты	Требования	Нормативные акты, законы, кодексы
Землепользование	- сохранение почв; - защита земель от внешних воздействий.	Земельный кодекс Российской Федерации от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ
Охрана атмосферного воздуха	- учёт уровня загрязнения воздуха; - учёт направления господствующих ветров; - ежегодные замеры; - разработка мер по снижению выбросов.	Федеральный закон от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ, а также требования СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03
Охрана водных ресурсов	- назначение охранных статусов водным объектам; - организация уборки территорий водотоков; - своевременный ремонт дорожных покрытий; - ограждение зон озеленения; - локализация участков; - упорядочение складирования и транспортирования материалов; - контроль гидрологического режима водоемов.	Водный кодекс Российской Федерации от 03 июня 2006 г. № 74-ФЗ.
Охрана флоры и фауны	сохранение путей миграции и мест постоянной концентрации животных	Федеральный закон от 24 апреля 1995 г. № 52-ФЗ
Акустические загрязнения	- применение акустических экранов; - соблюдение санитарных разрывов; - устройства шумозащитных полос из зеленых насаждений; - использование материалов покрытия, снижающих шум; - учёт направления господствующих ветров.	Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ
Утилизация отходов	- разработка нормативов и лимитов на образование отходов и их размещение; - внедрение малоотходных технологий; - инвентаризация отходов и объектов их размещения; - мониторинг состояния окружающей среды.	Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ

С учетом требований законодательства и опыта, как в отечественной, так и в мировой практике, предлагается внедрение следующих мер для обеспечения охраны окружающей среды и создания более экологически чистой среды:

1. Организация охранных мероприятий для обеспечения безопасности и надлежащего функционирования объектов.

2. Внедрение процедур по проверке и устранению несоответствий нормативам.
3. Прогнозирование и разработка новых проектов и сооружений на основе экологически чистых источников энергии.
4. Мониторинг изменений в окружающей среде для своевременного обнаружения проблем и принятия необходимых мер.
5. Защита полосы отвода автомобильных дорог от зарастания и ликвидация последствий загрязнения и захламления земель.
6. Рекультивация нарушенных земель для их восстановления и возвращения к природному состоянию.
7. Установка санитарных разрывов и проведение очистки выбрасываемых газов.
8. Строительство ограждений от животных и создание переходов и зон для безопасной миграции.
9. Организация защитных участков территорий и акваторий для сохранения редких видов животных и растений, включенных в красную книгу.
10. Запрет или ограничение движения грузовых автомобилей в населенных местах для снижения загрязнения воздуха и создания более безопасной и чистой среды для жителей.

Внедрение всех этих мер является необходимым условием для предотвращения загрязнений и создания экологически чистой среды. Таким образом, правильная оценка и соблюдение экологических аспектов при проектировании и строительстве дорог является неотъемлемой частью обеспечения устойчивого развития и сохранения окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шагиев В.* Экология дорожного строительства: виды воздействия, взаимосвязь, технологические процессы // 31TV.ru: [сайт]. 2023. URL: <https://31tv.ru/program/stil-zhizni/149914/> (дата обращения: 16.11.2023)
2. Современные методы обеспечения экологической безопасности при проектировании автомобильных дорог / сост. И.Е. Евгеньев. М.: Информавтодор, 1996. 77 с.
3. *Гагарина М.* Влияние эксплуатации дороги на окружающую среду // studfile.net: [сайт]. 2015. URL: <https://studfile.net/preview/5866056/> (дата обращения: 16.11.2023)
4. ОДМ 218.3.031-2013. Методические рекомендации по охране окружающей среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог. М.: Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР), 2013. 98 с.
5. Проблемы экологической безопасности дорожно-строительных и ремонтных работ / Е.В. Путинцева, М.С. Агафонова, В.С. Мальхина, А.В. Барышова // Науч.-метод. электронный журн. «Концепт». 2017. Т. 2. С. 519–529.

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ СМАЗОЧНЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ

А.С. Корытов, А.В. Маркелов

Научный руководитель – **А.В. Маркелов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Смазочные композиции являются неотъемлемой частью эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов и имеют огромное значение для их эффективного функционирования. Таким образом, разработка современных эффективных и экологически чистых смазочных композиций является актуальной задачей.

Ключевые слова: экологически чистые смазочные композиции, вязкостно-температурные свойства, вискозиметр Генплера, эбуллиоскоп

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY WATER-BASED LUBRICANTS

A.S. Korytov, A.V. Markelov

Scientific Supervisor – **A.V. Markelov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Lubricating compositions are an integral part of the operation of transport and technological machines and complexes and are of great importance for their effective functioning. Thus, the development of modern efficient and environmentally friendly lubricant compositions is an urgent task.

Keywords: environmentally friendly lubricating compositions, viscosity-temperature properties, Geppler viscometer, ebullioscope

Наша команда занимается разработкой технологии изготовления экологической смазочной композиции без использования нефтепродуктов, путем синтеза воды, одноатомного спирта и загустителей.

Во-первых, смазочные композиции способствуют снижению трения между подвижными элементами. Трение является одной из основных причин износа и повреждения механизмов. Правильно подобранная сма-

зочная композиция формирует тонкую защитную пленку между поверхностями, которая снижает трение и износ деталей.

Во-вторых, смазочные композиции позволяют отводить излишнее тепло, образующегося при работе механизмов. При трении деталей механизма они нагреваются, что может привести к перегреву и их ускоренному износу.

В-третьих, смазочные композиции также выполняют функцию защиты от коррозии и окисления. Они создают защитный слой на поверхностях деталей механизмов, предотвращая контакт металла с воздухом или влагой, что минимизирует риск коррозии и продлевает срок службы механизма.

В-четвертых, выбор правильной смазочной композиции имеет большое значение для оптимальной работы механизмов. Существует большое разнообразие механизмов, которые требуют различных типов и вязкости смазочных материалов, и неправильный выбор может привести к недостаточной смазке и повреждению механизма.

Кроме того, высокие требования по экологии, предъявляемые к современным транспортно-технологическим комплексам, обязывают производителей смазок делать их биоразлагаемыми, чтобы уменьшить вред, наносимый окружающей среде.

Применение нашей смазки решает проблему, связанную с дефицитом уникальных смазок иностранного производства, увеличивает ресурс узлов и агрегатов, уменьшает затраты на техническое обслуживание, ремонт и утилизацию. По нашим подсчетам экономия может составить от 50 до 100 тыс. рублей с тонны продукта по сравнению с классическими смазочными материалами.

Целевая аудитория: производители транспорта и транспортно-технологических комплексов, лесозаготовительного оборудования, индивидуальных средств мобильности и другого оборудования, требующего смазки с высокими требованиями по экологии.

Проблема: дефицит уникальных смазочных композиций по требованиям заказчика и их высокая стоимость; утилизация опасных отходов; загрязнение окружающей среды опасными отходами производства.

Решение: экологически чистая смазочная композиция с высокими эксплуатационными характеристиками по индивидуальным требованиям заказчика.

Технология: синтез воды, одноатомного спирта, экологически чистых загустителя и присадок.

Для исследования вязкостно-температурных свойств, полученных растворов использовался стенд, основным прибором которого являлся вискозиметр Гепплера. Общий вид оборудования представлен на рис. 1.

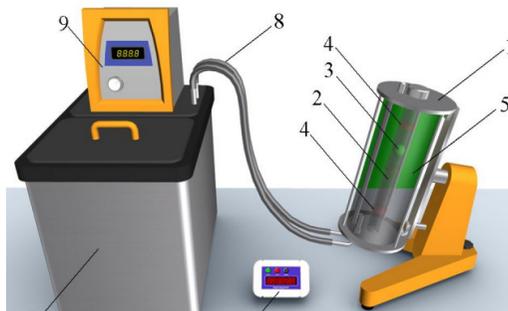


Рис. 1. Общий вид оборудования для исследования вязкостно-температурных свойств водно-спиртовых растворов:

- 1 – вискозиметр Гепплера; 2 – трубка с исследуемым раствором; 3 – шарик;
 4 – риски; 5 – колба, позволяющая поддерживать постоянную температуру, исследуемых растворов; 6 – секундомер; 7 – термостат; 8 – трубопроводы;
 9 – блок контроля температуры

Для исследования температуры кипения использовался простейший эбуллиоскоп рис. 2. Для его сборки использовалось следующее оборудование:

- штатив;
- стаканы химические вместимостью 100 см³ с пробкой и 300 см³;
- мерный цилиндр на 50 см³;
- термометр спиртовой с диапазоном измерения 0–100 °С с ценой деления не более 1 °С;
- весы лабораторные 2-го класса точности;
- часовое стекло для взвешивания, шпатель.

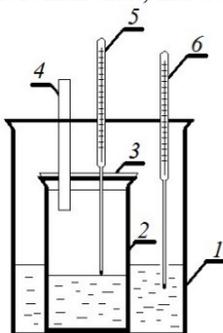


Рис. 2. Схема простейшего эбуллиоскопа:

- 1 – стакан с теплоносителем; 2 – сосуд измерительный; 3 – пробка;
 4 – устройство для возврата паров; 5 – термометр для измерения температуры кипения раствора; 6 – термометр для измерения температуры теплоносителя

Подбирая концентрации компонентов, можно получать смазочные композиции по индивидуальным требованиям заказчика. При этом смазка обладает триботехническими свойствами лучше известных аналогов, полученных по классической технологии из нефти. Новая смазочная композиция не токсична, не вызывает аллергических реакций, не требует утилизации после выработки ресурса, сопоставима по стоимости с классическими нефтесодержащими смазками, поэтому новая смазочная композиция может использоваться в агрегатах трансмиссии транспорта и транспортно-технологических комплексов, различных редукторах и механизмах, в том числе в пищевой промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зарубин В.П.* Влияние смазочных материалов на процесс трения и изнашивания. Иваново, 2018. URL: <https://novainfo.ru/article/>
2. *Афанасьева Г.Ф.* Вискозиметры Гепплера с падающим шаром. Москва, 1982. URL: <https://gostassistant.ru/>
3. НПЦ Знание. Эбуллиоскоп. Москва, 2022. URL: <https://www.ngpedia.ru/>

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТОРМОЗ-НАКАТ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПРИЦЕПОВ

Д.А. Куприянова, А.В. Маркелов

Научный руководитель – **А.В. Маркелов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Представлены результаты проектирования системы тормоз-накат для жилых прицепов типа «Капля» и грузовых прицепов с полной массой более 750 кг из отечественных комплектующих.

***Ключевые слова:** автомобильный прицеп, система тормоз-накат, проект*

DEVELOPMENT OF A BRAKE-ROLL SYSTEM FOR AUTOMOBILE TRAILERS

D.A. Kuprianova, A.V. Markelov

Scientific Supervisor – **A.V. Markelov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The results of designing a brake-roll system for residential trailers of the "Drop" type and cargo trailers with a gross weight of more than 750 kg from domestic components are presented.

***Keywords:** car trailer, brake-roll system, project*

Тормоз наката — это устройство, предназначенное для снижения скорости движения прицепа-кемпера при его сцепке с тягачом и обеспечении безопасности и комфорта при движении колесного транспортного средства, особенно на спусках [1].

При оснащении прицепа тормозом наката существуют несколько проблем, а именно:

- система тормоз наката не производится серийно в России;
- механизм европейских тормозов наката, как правило, действует в одной плоскости при помощи тяг и тросиков, что не всегда удобно, так как рама и колёсная пара или независимая подвеска находятся на разных уровнях;

- высокая стоимость зарубежных систем;
- формирующийся дефицит запасных частей для подобных систем из-за ухода с российского рынка иностранных компаний [2].

При разработке отечественного тормоза наката были совмещены механическая и гидравлическая части. Благодаря наличию гидравлической системы достигается надежная работа тормозной системы прицепного устройства и позволяет избежать обрывов тросовых тяг от перетирания ржавчины и других не благоприятных факторов. Так же данное устройство удобно в монтаже на любую рамную конструкцию прицепов. Стоимость отечественной разработки примерно в 2-3 раза ниже зарубежных аналогов, что немаловажно при покупке, а также при необходимости замены деталей и механизмов в процессе эксплуатации. Составные детали и элементы конструкции доступны на российском рынке автомобилестроения, индивидуальные детали необходимые к применению в данной конструкции просты в изготовлении, что позволяет не завышать ценовую планку, тем самым обеспечивать доступность потребителю.

Принципиальная схема разработанной системы тормоз накат представлено на рис. 1.

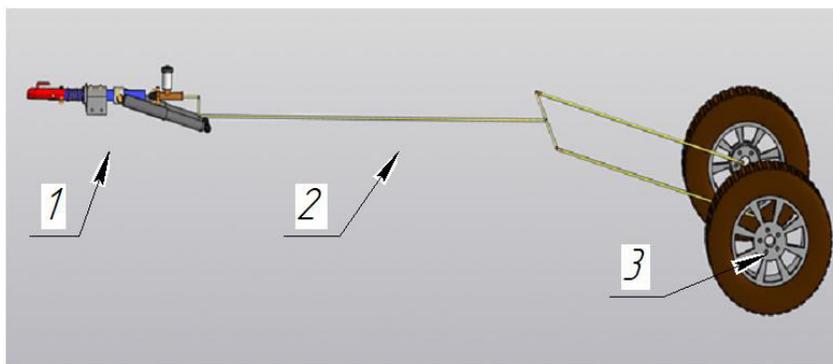


Рис. 1. Принципиальная схема разработанной системы тормоз наката:

- 1 – механическая часть;
- 2 – гидравлическая часть;
- 3 – барабанные тормоза

Гидравлическая тормозная система состоит из трех основных частей:

- механизма тормоза наката;
- тормозного привода (главный тормозной цилиндр, трубопроводы, тормозные цилиндры (левый и правый));
- колесных барабанных тормозов.

Устройство механизма разработанной системы тормоз наката представлено на рис. 2.

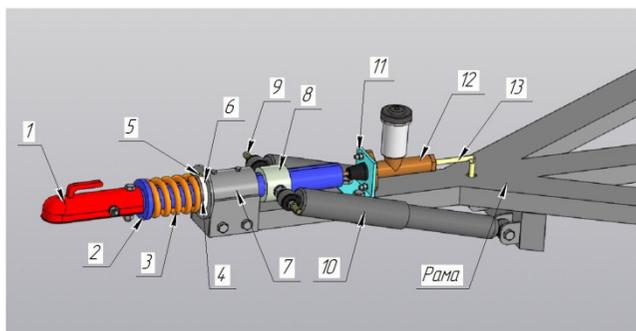


Рис. 2. Основные составные части механизма тормоз наката:

- 1 – замковое устройство; 2 – шток; 3 – пружина сжатия; 4 – опорная шайба;
 5 – шпонка; 6 – капролоновая втулка; 7 – корпус; 8 – металлическая втулка;
 9 – шпилька; 10 – амортизатор; 11 – монтажная пластина; 12 – главный тормозной цилиндр; 13 – трубопровод

У движущегося автомобиля при нажатии на педаль тормоза на шар фаркопа со стороны прицепа действует сила, толкающая вперед тормозящий автомобиль. При увеличении «толкающей силы» шток тормоза наката, на котором закреплено замковое устройство прицепа, сжимает пружину и давит на шток главного тормозного цилиндра. Тормозная жидкость из бочка, расположенного в верхней части цилиндра, поступает под давлением через трубопроводы в тормозные цилиндры колесных барабанов. В тормозных цилиндрах происходит выдавливание штоков, которые упираются в тормозные колодки, прижимая их к тормозному барабану. В результате прижима колодки к барабану происходит торможение прицепа.

Вывод. Механизм тормоза наката возможен к применению как к прицепам-кемперам, так и к прицепам-автодомам, прицепах для транспортировки различных грузов, животных, техники (снегоходы, мотоциклы, лодки и т.п.) полной массой более 750 кг.

Простота монтажа позволяет оснастить любое прицепное устройство тормозом наката, что увеличит комфорт и безопасность передвижения на автомобильных дорогах любой сложности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тормоз накат // За рулем. 2011. URL: https://wiki.zr.ru/index.php?title=Тормоз_наката&oldid=13163
2. Руководство по монтажу и эксплуатации. Механизмы тормоза наката // KNOTT Bremsen Anchem. 2019. URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1709139089&tld=ru&lang=ru&name=instrukciya_tormoz_nakata.pdf&text=система

АНАЛИЗ ПРИЧИН НИЗКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН

Б.П. Трофименко, А.С. Корытов

Научный руководитель – **А.В. Маркелов**, канд. тех. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются условия работы строительных дорожных машин, частота отказов механизмов. Для повышения надежности предложен альтернативный вариант смазочного материала.

Ключевые слова: строительные дорожные машины, силовые агрегаты, надежность, смазочные композиции на водной основе.

ANALYSIS OF THE CAUSES OF LOW OPERATIONAL RELIABILITY OF CONSTRUCTION AND ROAD VEHICLES

B.P. Trofimenko, A.S. Korytov

Scientific Supervisor – **A.V. Markelov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The working conditions of road construction machines and the failure rate of mechanisms are considered. An alternative lubricant option has been proposed to increase reliability.

Ключевые слова: road construction machines, power units, reliability, water-based lubricants

На строительные и дорожные машины (СДМ) в основном устанавливаются двигатели от автотракторной техники, условия эксплуатации которых существенно отличаются от условий эксплуатации автомобилей и стационарных установок. Важными особенностями при эксплуатации силового оборудования СДМ являются [1]: высокая запыленность воздуха, тяжелые климатические условия, специфичность технического обслуживания и условий хранения, высокие нагрузки при работе двигателя, резко переменный, неустановившийся характер нагружения двигателя.

Эксплуатация СДМ часто связана с разрушением грунта, что увеличивает концентрацию пыли в воздухе. Частицы пыли в рабочем масле увеличивают износ компонентов трибосопряжения и, как следствие, снижают долговечность механизмов [2]. В условиях низких температур низкая температура двигателя приводит к образованию плотных углеродистых отложений, засорению поршневых колец, ускоренному "старению" масла и повышенному износу кривошипно-шатунного механизма. Кроме того, повышение вязкости масла приводит к его "голоданию" двигателем при запуске. Трудности с запуском при низких температурах, означают, что двигатель может не выключиться после остановки машины. Эта неэффективная трата моторесурса двигателя, а также длительная работа двигателя на холостом ходу снижают его долговечность. [3]

Основными факторами, влияющими на износ деталей, являются [4]: запуск двигателей в холод и не соблюдение оптимальных температурных режимов, высокая загрязненность воздуха, неисправность систем очистки воздуха и масла, использование несоответствующих горючесмазочных материалов, некачественное обслуживание систем электропитания, неквалифицированная эксплуатация машин.

Анализируя работу различных СДМ, можно сделать вывод, что в большинстве случаев силовой агрегат работает с повышенной нагрузкой. Нагрузка составляет 65-75% от общего времени работы двигателей бульдозеров, 70-80% - одноковшовых погрузчиков и 55-65% - автогрейдеров. Степень напряженности работы двигателя характеризуется временем работы под нагрузкой, временем, отводимым на выполнение каждой задачи технического цикла, количеством включений и запусков главного механизма машины [5].

Высокая напряженность работы приводит к повышению удельного давления в трибосопряжении, ударным нагрузкам и повышенному износу. Кроме того, характер нагрузок в процессе технической эксплуатации не является постоянным. Это связано с тем, что затраты энергии, необходимые для преодоления сопротивления перемещению рабочего органа меняются с течением времени. Например, двигатель может работать со значительной перегрузкой, если в процессе выполнения рабочего цикла момент сопротивления значительно превышает крутящий момент двигателя. Это приводит к динамическому увеличению удельной нагрузки внутри трибосопряжения. Изменение нагрузки вызывает изменение скорости движения рабочей машины, шасси, трансмиссии и двигателя, что приводит к возникновению нагружения силовой установки инерционными силами.

Тяжелые условия эксплуатации СДМ влияют на их надежность и долговечность.

В табл. 1 приведены сравнительные данные по наработке двигателей СМД-14, устанавливаемых на СДМ и сельскохозяйственном тракторе.

Таблица 1. Количество включений основных механизмов машин за час работы

Механизм	Машина	
	бульдозер	трелевочный трактор
Муфта сцепления	105	82
Коробка перемены передач	80	28
Фрикционы	190	55
Гидросистема	1100	12

Вследствие всех вышеперечисленных факторов срок службы силовых агрегатов СДМ относительно невысок по сравнению с аналогичными силовыми агрегатами других машин. Поэтому средний срок службы двигателей бульдозеров до капитального ремонта составляет 2700-2800 часов.

Так по данным эксплуатационной организации (табл. 2) простои СДМ в текущем ремонте по причине неисправности двигателя составляют 10,5%, трансмиссии 42,4%). В сумме на устранение неисправностей силовых установок приходится 52,9% простоев всех эксплуатирующихся СДМ. Надежность механических систем СДМ находится на относительно низком уровне.

Таблица 2. Распределение простоев строительных и дорожных машин в ремонте по видам неисправностей

Машина	Двигатель	Автошины	Электрооборудование	Тормозная система	Гидросистема	Трансмиссия	Ходовая часть	Рабочее оборудование	Всего
Кран	16	44	20	32	67	710	3	-	892
Бульдозер	773	-	145	8	120	1785	1971	513	5315
Автогрейдер	87	75	3	4	43	600	319	327	1458
Погрузчик	41	25	3	2	170	606	198	26	1071
Итого:	917	144	171	46	400	3701	2491	866	8736
	10,5%	1,6%	2,0%	0,5%	4,6%	42,4%	28,5%	9,9%	100%

Повышение надежности механических систем решается путем выбора износостойких материалов пары трения и подбора к ним смазочных материалов.

В трансмиссии, в зоне контакта двух боковых сторон зубьев с высокими скоростями скольжения выделяется тепло трения. Это приводит к высокой температуре вспышки, что повышает риск задигов. Хорошие

условия смазки необходимы для предотвращения трибологических повреждений на поверхности боковой поверхности зуба, таких как истирание, износ и микропиттинг. В частности, важно создать достаточную толщину пленки, учитывая, что минимальная толщина смазочной пленки в контакте шестерни является основным фактором, который следует учитывать при оценке износа скольжения шестерни

Таким образом, несущая способность зависит не только от материала, термической обработки, нагрузки, контактного давления и условий скольжения, но также от выбора смазки. Что касается эффективности, потери мощности можно уменьшить, используя смазку с низким коэффициентом трения.

Для снижения экологических рисков необходимы смазочные материалы, которые являются биологически безвредными и быстро биоразлагаемыми. Высокий спрос на такие экологически чистые смазочные материалы особенно высок в механизмах, расположенных в критических экологических условиях, таких как лодки или гавани.

Альтернативой традиционным маслам могут быть смазочные материалы на водной и растительной основе. Они обладают рядом преимуществ перед традиционными масляными смазками, такими как экологическая безопасность и более низкий коэффициент трения. Вода в составе смазки обладает отличными свойствами охлаждения, что позволяет поддерживать низкую температуру в трибопарах при высоких нагрузках и скоростях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веригин Ю.А.* Строительные машины: Учебное пособие. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. 141 с.
2. *Дорожные машины. Часть I. Машины для земляных работ / Т.В. Алексеева, К.А. Артемьев, А.А. Бромберг, Р.И. Войцеховский, Н.А. Ульянов.* Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1972. С. 504.
3. *Бакуревич Ю.А.* Эксплуатация автомобилей при низких температурах. М.: Транспорт, 1973.
4. *Орлин А.С.* Двигатели внутреннего сгорания. Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей / А.С. Орлин, М.Г. Круглов. М.: Машиностроение, 1984. 383 с.
5. *Зорин В.А.* Управление рисками при проектировании, производстве и эксплуатации строительно-дорожных машин // *Механизация строительства.* 2016. №10. С. 45-48.
6. *Экологические и экономические проблемы получения и использования смазочных материалов на основе жиров растительного и животного происхождения / В.В. Соловьев, А.В. Соколов, А.В. Маркелов, М.С. Ермаков // Механика и трибология транспортных систем (МехТрибоТранс-2021): сб. ст. междунар. науч. конф. Ростов-на-Дону, 2021. С. 381-389.*

ИТОГИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ

Л.О. Огурцов, Л.М. Соболева, А.В. Маркелов, В.В. Соловьев

Научный руководитель – **В.В. Соловьев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В условиях постепенно увеличивающегося дефицита нефтепродуктов (минеральных масел и присадок к ним) и его прогрессирования в последнее время, а также в связи введением экономических санкций и атаки дронов на нефтеперерабатывающую отрасль Российской Федерации, особенно актуальными являются вопросы экономного и рационального использования топливных и смазочных материалов, а также минеральных масел, прежде всего за счет вовлечения в производство и дальнейшей эксплуатации отработанных масел после их соответствующей физической или химической переработки.

***Ключевые слова:** отработанные моторные масла, регенерация, проектирование, конструкторские разработки*

THE RESULTS OF SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF WASTE RECYCLING TECHNOLOGIES MINERAL AND SYNTHETIC OILS

L.O. Ogurtsov, L.M. Soboleva, A.V. Markelov, V.V. Solovyov

Scientific Supervisor – **V.V. Solovyov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

In conditions of gradually increasing deficit of oil products (mineral oils and additives to them) and its progression in recent times, as well as in connection with the introduction of economic sanctions and drone attacks on the oil refining industry of the Russian Federation, the issues of economical and rational use of fuel and lubricants, as well as mineral oils, are particularly relevant, primarily through the involvement in the production and further exploitation of used oils after their appropriate physical or chemical re-processing.

***Keywords:** waste motor oils, regeneration, engineering, design development*

В условиях постепенно увеличивающегося дефицита нефтепродуктов (минеральных масел и присадок к ним) и его прогрессирования в последнее время, а также в связи введением экономических санкций и атаки дронов на нефтеперерабатывающую отрасль Российской Федера-

ции, особенно актуальными являются вопросы экономного и рационального использования топливных и смазочных материалов, а также минеральных масел, прежде всего за счет вовлечения в производство и дальнейшей эксплуатации отработанных масел после их соответствующей физической или химической переработки. В данной статье, которая является продолжением ранее опубликованных работ [1-3] по разработке методов и приемов простых и доступных методов переработки отработанных нефтяных минеральных масел, приведены результаты исследований по анализу предлагаемых технологических решений и предложены пути их практической реализации.

В продолжение научно исследовательских работ по регенерации отработанных минеральных масел совместно с малым предприятием «Ярославские масла и смазки» во второй половине 2022 года был предложен и разработан пилотный процесс, который включает следующие ступени переработки: удаление воды и топливных фракций; вакуумную перегонку масла и гидроочистку масляного дистиллята с последующим фракционированием. С целью получения максимального выхода масляного дистиллята была предложена и разработана специальная вакуумная перегонка, которая осуществляется при температуре не выше 300 °С и очень низком остаточном давлении с использованием тонкопленочных или роторных испарителей. Процесс дальнейшей гидроочистки масляного дистиллята проводится по известному способу, применяемому на ПАО «Славнефть ЯНОС» при использовании специального катализатора, принадлежащего отечественной фирме ПАО «Газпром нефть» с длительным сроком службы, который был специально разработан для реализации похожего технологического процесса. По данным предварительных исследований выход регенерированного масла при использовании такого отечественного катализатора в среднем достигал 80-83%. Тяжелые остатки, составляющие около 8-10% от выхода масла, были использованы в производстве битума или применялись в синтезе специальных высокотемпературных смазок с графитовыми материалами. При невозможности переработки тяжелых остатков их рекомендуется сжигать на электростанциях или в цементных печах. Высокий выход готового продукта и качество регенерированного масла являются преимуществами этого процесса. Однако использование дорогостоящего оборудования для создания глубокого вакуума и применение специального пока еще дефицитного катализатора при гидроочистке и в основном процессе превращения относятся к сдерживающим факторам широкого внедрения этой технологии.

В конце 2022 и начале 2023 года представителями Ярославского государственного технического университета и предприятием ООО «Энергостройсервис» г. Ярославль был разработан и опробован в опытно-промышленных условиях процесс очистки отработанных масел с использованием металлического натрия. Основные стадии процесса заключались в механическом отделении твердых примесей и воды, вакуумной

отгонке воды и низкокипящих фракций до их содержания менее 1%. Такая концентрация воды на следующем этапе осуществления процесса очистки отработанного минерального масла позволила провести последующую химическую обработку практически сухого масла твердым металлическим натрием. На следующем технологическом этапе было осуществлено отделение низкокипящих продуктов методом однократного испарения с последующим выделением базового минерального масла от тяжелого остатка. Завершающим этапом предлагаемой технологии вакуумное фракционирование проходило также как на секции 100 вакуумной разгонки мазута установки КМ-2 на предприятии ПАО «Славнефть ЯНОС». Выход регенерированного масла составил не менее 70%, остальное моторные топлива, которые в первом приближении соответствовали требованиям на бензиновые, керосиновые, дизельные и мазутные дистилляты. К сожалению, опасность работы с металлическим натрием и проблема поддержания глубокого вакуума на промышленных установках относятся к недостаткам процесса.

Исходя из изложенного следует, что для выбора наиболее экономного и рационального метода или приема переработки отработанных минеральных масел нефтяного происхождения, а также их дальнейшего применения в технике целесообразно продолжить работы, связанные с накоплением фактических данных по оценке различных методов и приемов их переработки. Дальнейшие научные разработки следует направить на исследования технико-экономических показателей работоспособности предлагаемых схем переработки отработанных минеральных масел с учетом функционального назначения получаемых очищенных масел и особенностей их будущей эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние группового углеводородного состава отработанных нефтяных масел на низкотемпературные свойства литиевых смазок / М.С. Белинов, М.А. Гончарова, В.В. Соловьев, А.В. Соколов, А.С. Данилова // Трибология – машиностроению: труды XIV Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения А.П. Семёнова. М.: ИМАШ РАН, 2022. С. 39-42.
2. Использование отработанных масел в качестве компонента защитных смазок / А.А. Качков, В.А. Фомин, А.В. Маркелов, В.В. Соловьев // Семьдесят шестая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с междунар. участием. 19-20 апреля 2023 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. 1 CD-ROM. С. 573-576.
3. Современная технология переработки отработанных минеральных и синтетических масел / В.А. Фомин, Л.О. Огурцов, А.В. Маркелов, В.В. Соловьев // Семьдесят шестая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с междунар. участием. 19-20 апреля 2023 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. 1 CD-ROM. С. 586-589.

**РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ
МИНЕРАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ
ПОЛУЧЕНИЯ МАСЕЛ НА УСТАНОВКЕ КМ-2
ПАО «Славнефть-ЯНОС»**

Л.О. Огурцов, Л.М. Соболева, А.В. Маркелов, В.В. Соловьев

Научный руководитель – **В.В. Соловьев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Радикальным решением задачи рационального и экономного использования материальных и сырьевых ресурсов в ближайшей перспективе будет создание замкнутых, безотходных технологий и комплексных производств. В настоящее время решению данной задачи в какой-то степени способствует утилизация отходов нефтехимии, количество которых постоянно увеличивается с ростом объема основного технологического производства. К таким нефтехимическим продуктам можно чисто условно отнести отработанные смазочные масла после эксплуатации их на транспорте (гражданские и военные автомобили, автобусы, водный, железнодорожный транспорт и т.д.), в металлообработке (металлообрабатывающие станки и механизмы, использующие индустриальные масла), в энергетике (энергетические и специальные масла). В ходе технологического прогресса доля этих продуктов нефтехимии также как, и доля отработанных масел будет с каждым годом только возрастать. Поэтому перед отечественной промышленностью и нефтепереработкой стоит неотложная задача наладить регенерацию отработанных масел, в первую очередь моторных и индустриальных. Цель настоящего (3-го) сообщения этой серии состоит в ознакомлении заинтересованной научной аудитории, а также предпринимателей и малых предприятий с различными технологическими процессами, которые разрабатываются в Ярославском государственном техническом университете (ЯГТУ) и предлагаются к реализации в области эффективной переработки отработанных минеральных и синтетических масел.

***Ключевые слова:** отработанные моторные масла, регенерация, проектирование, конструкторские разработки*

**DEVELOPMENT OF PROCESSES FOR PROCESSING
USED MINERAL AND SYNTHETIC OILS
USING EXISTING OIL PRODUCTION TECHNOLOGIES
AT THE KM-2 PLANT PJSC Slavneft-YANOS**

L.O. Ogurtsov, L.M. Soboleva, A.V. Markelov, V.V. Solovyov

Scientific Supervisor – **V.V. Solovyov**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

A radical solution to the problem of rational and economical use of material and raw material resources in the near future will be the creation of closed, waste-free technologies and integrated production facilities. At present, the solution of this problem is to some extent facilitated by the utilization of petrochemical wastes, the amount of which is constantly increasing with the growth of the volume of the main technological production. Such petrochemical products can be conditionally referred to waste lubricating oils after their use in transport (civil and military cars, buses, water, railway transport, etc.), in metalworking (metalworking machines and mechanisms using industrial oils), in energy (power and special oils). In the course of technological progress the share of these petrochemical products as well as the share of used oils will only increase every year. Therefore, the domestic industry and oil refining faces an urgent task to establish regeneration of used oils, primarily motor and industrial oils. The purpose of this (3rd) communication of this series is to familiarize the interested scientific audience, as well as entrepreneurs and small businesses with various technological processes that are being developed at Yaroslavl State Technical University (YSTU) and proposed for implementation in the field of effective recycling of used mineral and synthetic oils.

Keywords: waste motor oils, regeneration, engineering, design development

Санкции затронули практически все ключевые сферы экономики Российской Федерации, в том числе и высокотехнологичные производства, инвестиционную и экспортную деятельность. Поэтому в настоящее время в условиях пока еще высоких цен на нефть и перепроизводства отечественных топлив, а также нефтехимических продуктов на внутреннем и мировом рынке следует уделять особое внимание повышению экономической эффективности нефтехимических процессов [1, 2]. В частности разработке новых технологий переработки более дешевого сырья, в качестве которого могут выступать отработанные минеральные и синтетические масла [3, 4]. Цель настоящего (3-го) сообщения состоит в ознакомлении заинтересованной научной аудитории, а также предпринимателей и малых предприятий с различными технологическими процессами, которые разрабатываются в ЯГТУ и предлагаются к реализации в области эффективной переработки отработанных минеральных и синтетических масел.

Активные исследования в области технологии регенерации отработанных масел и разработки эффективных процессов их переработки осуществляются студентами и сотрудниками Ярославского государственного технического университета, а также малыми предприятиями, которые заинтересованы в дешевых и доступных смазочных материалах. В ходе совместной научно-исследовательской работы (НИР), Закрытое акционерное общество «Компания Ярославские масла и смазки» под патронажем студентов ЯГТУ разработало процесс регенерации отработанных минеральных масел, который включает следующие стадии: химическое осаждение примесей водным раствором $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, отделение мас-

ла от продуктов реакции фильтрованием; контактную очистку для удаления металлосодержащих присадок; гидроочистку от сопутствующих примесей; однократное испарение; отпарку остаточной топливной фракции. К преимуществам процесса относятся высокий выход и хорошее качество регенерированных масел. На данном этапе исследований предлагаемая технология была оформлена в виде ряда технологических расчетов в рамках курсовых проектов, которые выполняли студенты ЯГТУ с перспективой подготовки выпускной квалификационной работы (ВКР) на их основе.

В ходе дальнейшей работы был предложен, а в последствие и разработан оригинальный способ регенерации масел, в котором в отличие от существующих процессов для очистки отработанных масел не предполагается использование реагентов, растворителей или кислот. Эта технология включает несколько ступеней вакуумной перегонки отработанного минерального масла с использованием специального оборудования, которое традиционно используется при получении минеральных масел на установке КМ-2, расположенной на предприятии ПАО «Славнефть ЯНОС» в городе Ярославле. К основным стадиям процесса относятся: отделение свободной воды от отработанных масел; атмосферная отгонка топливных фракций и воды; вакуумная перегонка с получением фракции легкого минерального масла; вакуумная перегонка в ректификационной колонне с получением вязкого масляного дистиллята; контактная очистка масляных фракций на твердом цеолите, производимом на ст. Волга предприятием «Цеосит» (Ярославская область). Суммарный выход очищенных масел в этом процессе по предварительным расчетам и лабораторным проверкам составляет не менее 96% на обезвоженное отработанное масло. Этот процесс может быть рекомендован при строительстве установок малой мощности, а также при реконструкции установки кислотно-контактной очистки отработанных масел.

Для повышения эффективности указанных исследований необходима разработка и совершенствование научно обоснованных подходов, базирующихся на общей теории состояния базовых минеральных масел. Сочетание практического и теоретического начала позволит упростить выбор наиболее рациональных технологий переработки отработанных нефтяных масел, а также позволит составить информативную базу показателей состояния масел различного уровня переработки, и наработать базу их эксплуатационных свойств, для того чтобы регламентировать их предельные значения для различных условий применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перспективы развития нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, связанные с глубокой переработкой нефти на примере работы Ярослав-

- ского НПЗ / Л.О. Огурцов, А.А. Качков, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев // Переработка углеводородного сырья. Комплексные решения (Левинтерские чтения), 05–06 октября 2023 г.: сб. тезисов докл.; отв. ред. В.А. Тыщенко, Н.М. Максимов. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2023. С. 96-97
2. Интенсификация процессов в области нефтепереработки на предприятии ПАО «Славнефть-ЯНОС» / Л.О. Огурцов, А.В.Симонов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев // Переработка углеводородного сырья. Комплексные решения (Левинтерские чтения), 05–06 октября 2023 г.: сб. тезисов докл.; отв. ред. В.А. Тыщенко, Н.М. Максимов. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2023. С. 182-183
3. Синтез поверхностно-активных веществ на основе отработанных нефтяных машинных масел, находящих применение для процесса обезвоживания углей / М.А. Червочкин, А.В. Белян, М.С. Белинов, В.В. Соловьев // Семьдесят пятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 20-21 апреля 2022 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. Ярославль: Издательство ЯГТУ, 2022. 1 CD-ROM. С. 291-295.
4. Использование отработанных масел в качестве компонента защитных смазок / А.А. Качков, В.А. Фомин, А.В. Маркелов, В.В. Соловьев // Семьдесят шестая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 19-20 апреля 2023 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. 1 CD-ROM. С. 573-576.

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕЛЕКТИВНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

Л.О. Огурцов, Л.М. Соболева, А.В. Маркелов, В.В. Соловьев

Научный руководитель – **В.В. Соловьев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Изменение состава перерабатываемых нефтей и постоянно растущие требования потребителей к качеству масел определили тенденции развития масляного производства на современном этапе на ближайшую перспективу. Традиционные технологические схемы масляного производства в большинстве своем основаны на применении избирательных растворителей, эффективность которых в значительной степени зависит от состава масляного сырья. Совершенствование этих процессов идет по пути использования эффективных растворителей и производительного оборудования. Поэтому необходимо постоянно совершенствовать не только технологию производства базовых масел, и разрабатывать химию, связанную с синтезом высококачественных синтетических масел, но и проводить научные исследования в области модернизации технологии переработки или регенерации отработанных масел.

***Ключевые слова:** отработанные моторные масла, регенерация, проектирование, конструкторские разработки*

TECHNOLOGIES FOR PROCESSING USED MINERAL AND SYNTHETIC OILS USING SELECTIVE SOLVENTS

L.O. Ogurtsov, L.M. Soboleva, A.V. Markelov, V.V. Solovyov

Scientific Supervisor – **V.V. Solovyov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Changes in the composition of refined oils and constantly growing consumer requirements to the quality of oils have determined the trends in the development of oil production at the present stage for the near future. Traditional technological schemes of oil production are mostly based on the use of selective solvents, the efficiency of which largely depends on the composition of oil raw materials. Improvement of these processes is on the way to the use of effective solvents and productive equipment.

Therefore, it is necessary to constantly improve not only the technology of base oils production, and to develop chemistry related to the synthesis of high quality synthetic oils, but also to conduct scientific research in the field of modernization of technology of processing or regeneration of used oils.

Keywords: *waste motor oils, regeneration, engineering, design development*

Изменение состава перерабатываемых нефтей и постоянно растущие требования потребителей к качеству масел определили тенденции развития масляного производства на современном этапе на ближайшую перспективу [1, 2]. Традиционные технологические схемы масляного производства в большинстве своем основаны на применении избирательных растворителей, эффективность которых в значительной степени зависит от состава масляного сырья. Совершенствование этих процессов идет по пути использования эффективных растворителей и производительного оборудования. Поэтому необходимо постоянно совершенствовать не только технологию производства базовых масел, и разрабатывать химию, связанную с синтезом высококачественных синтетических масел, но и проводить научные исследования в области модернизации технологий переработки или регенерации отработанных масел.

В настоящее время проблемой вторичного использования отработанных масел занимается трибологический центр, созданный в г. Ярославле [3, 4]. На его базе студенты института химии и химической технологии Ярославского государственного технического университета (ЯГТУ) предложили усовершенствованный процесс регенерации минеральных отработанных масел. Процесс включает следующие стадии: обезвоживание; вакуумную отгонку топливных фракций; обработку масла смесью растворителей; регенерацию растворителей; фракционирование; контактную чистку или гидроочистку. В качестве растворителя предложена смесь изопропанола, метилэтилкетона и н-бутанола в объемном соотношении 1:1:2, которая добавляется к сырью в объеме 3:1. Проведенные предварительные расчеты, подтвержденные экспериментальными данными, показали, что извлечение масла растворителем может составлять от 85 до 90% от исходного отработанного масла, а потери растворителя не должны превышать 0,5-1%. Дальнейшие расчеты, и выполненные лабораторные исследования показали, что предложенным методом в первом приближении можно получать относительно высококачественные масла с высоким выходом, а образующиеся нейтральные отходы можно использовать в производстве асфальта и типографской краски.

По нашему мнению, наиболее перспективным можно считать другой усовершенствованный процесс экстракционной очистки отработанных минеральных масел, где в качестве растворителя предлагается использовать традиционный органический растворитель - N-метил-2-пирролидон. Этот растворитель малотоксичен, обладает хорошей раство-

ряющей способностью, имеет высокую селективность и применим для широкого ассортимента масляного сырья. По растворяющей способности, химической и термической стабильности он превосходит ряд других более дорогостоящих растворителей. Высокая избирательность растворителя дает возможность увеличить выход рафината при выбранном расходе растворителя, или сократить расход растворителя при заданном выходе рафината. Это ведет к повышению производительности установки по регенерации отработанных минеральных масел и экономии энергетических затрат в процессе технологической переработки. Исследование свойств базовых масел показало, что более высокие расчетные выходы, полученные при экстракции N-метил-2-пирролидоном (N-МП) отработанных масел, по сравнению с базовыми парными растворителями, не приводят к значительному различию в составе получаемых очищенных масел. Это объясняется большей избирательной способностью N-МП к ароматическим углеводородам и поэтому при очистке до одинакового значения индекса вязкости рафината предлагаемого процесса экстракт содержит большее количество ароматических соединений по сравнению с традиционной очисткой парными растворителями. В ходе проведенных лабораторных исследований и анализа основных показателей, получаемых масел, было установлено, что после депарафинизации и гидроочистки базовые масла, полученные очисткой N-МП и парными – селективными растворителями, имели практически одинаковые значения. Испытания моторных масел, полученных из отработанных базовых масел предлагаемого процесса, показали, что они частично удовлетворяют требованиям стандартов API.

В предлагаемом процессе были разработаны и в последствие использованы два варианта регенерации растворителя. В первом варианте для отгонки растворителя предлагается использовать инертные газы – азот или гелий, а также водород или легкие углеводородные газы нефтепереработки, во втором может быть реализована типичная схема регенерации растворителя – отгонка водяным паром. В рамках проведенных исследований было установлено, что на установках селективной очистки более современной конструкции для регенерации растворителя может быть рекомендован первый вариант.

Таким образом, новые эффективные процессы переработки отработанных масел дают возможность не только получать продукты высокого качества, не уступающие свежим маслам, но также избежать загрязнения окружающей среды отходами производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние углубления переработки нефти на технико-экономические показатели нефтеперерабатывающего предприятия / Л.О. Огурцов, В.А.Фомин, Л.М. Собо-

- лева, В.В. Соловьев // Переработка углеводородного сырья. Комплексные решения (Левинтерские чтения), 05–06 октября 2023 г.: сб. тезисов докл.; отв. ред. В.А. Тыщенко, Н.М. Максимов. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2023. С. 145-146.
2. Современная технология переработки отработанных минеральных и синтетических масел / В.А. Фомин, Л.О. Огурцов, А.В. Маркелов, В.В. Соловьев // Семьдесят шестая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 19-20 апреля 2023 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. 1 CD-ROM. С. 586-589.
3. Влияние группового углеводородного состава отработанных нефтяных масел на низкотемпературные свойства литиевых смазок / М.С. Белинов, М.А. Гончарова, В.В. Соловьев, А.В. Соколов, А.С. Данилова // Трибология – машиностроению: труды XIV Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.П. Семёнова. М.: ИМАШ РАН, 2022. С. 39-42.
4. Исследование защитных свойств смазочных материалов при механической обработке металлов / М.С. Ермаков, А.В. Соколов, М.А. Червочкин, В.В. Соловьев // Компьютерно-интегрированные технологии в машиностроении: проблемы и перспективы: 26 мая 2022 г., Ярославль: сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. 1 CD-ROM. С. 74-77.

ВНЕДРЕНИЕ ПРИРОДОСОВМЕСТИМЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

А.А. Ладыгина^{1,2}, Г.А. Фоменко^{1,2}

Научный руководитель – **Г.А. Фоменко**, д-р геогр. наук,
профессор

¹Ярославский государственный технический университет

²НПО «Институт устойчивых инноваций», Ярославль

Рассматривается внедрение природосовместимых решений для адаптации к изменению климата и уменьшение стихийных бедствий и рисков на примере Куронской косы в Калининградской области.

Ключевые слова: природосовместимые решения, адаптация к изменению климата, экосистема, риски

IMPLEMENTING NATURE-BASED SOLUTIONS FOR CLIMATE CHANGE ADAPTATION

A.A. Ladygina^{1,2}, G.A. Fomenko^{1,2}

Scientific Supervisor – **G.A. Fomenko**, Doctor of Geographic
Sciences, Professor

¹Yaroslavl State Technical University

²Group of Companies «Institute of Sustainable Innovation»

The implementation of nature-based solutions for climate change adaptation and disaster and risk reduction is considered, using the example of the Curonian Spit in the Kaliningrad region.

Ключевые слова: nature-based solutions, climate change adaptation, ecosystem, risks

Введение. В современном мире создание материальных благ все более сопровождается общественным производством рисков [3]. Происходящие в мире климатические изменения ускоряют этот процесс: в результате снижается качество жизни людей, сокращается видовое разнообразие, увеличиваются засушливые территории, возрастает число аварий и катастроф, активизируется миграция населения. По данным Орга-

низации Объединенных Наций ежегодно в результате стихийных бедствий погибает около 160 млн человек во всем мире. В своем докладе ООН заявило, что изменения климата является причиной удвоения количества стихийных бедствий за последние 20 лет¹. Миллиарды людей, думая о происходящем, испытывают растерянность и тревогу, поскольку прошлые привычки и традиции хозяйствования на глазах теряют результативность [4].

Многочисленные исследования повышения эффективности адаптации к климатическим изменениям, проводимые в России и за рубежом показали, что адаптационные возможности повышаются у здоровых экосистем [5]. Здоровые экосистемы также меньше подвержены стихийным бедствиям и воздействию экстремальных природных явлений.

На основании результатов выполненных исследований, оценки и моделирования уязвимости территории Куршской Косы в Калининградской области в статье показана целесообразность применения природосовместимых решений при очистке поверхностного стока в п. Рыбачий.

Методы исследования

Поддержание здоровья среды² предполагает повышенную ответственность людей за сохранение и устойчивое потребление экосистемных услуг, оказываемых экосистемами. Тем самым становится востребованным развитие нового взгляда на инженерные решения, согласующиеся с формирующимся сейчас в обществе новым, системным подходом: экосистемы, измененные людьми – антропоприродные экосистемы – должны быть здоровы для обеспечения как длительного благополучного существования живой природы, так и для здоровья человека (1).

Тем самым актуализируется вопрос расширенного применения природосовместимых решений (ПСР). Они заключаются в разумном использовании собственных ресурсов природы – чистого воздуха, воды и почвы – для решения экологических проблем в соответствии с принципами устойчивого развития [1]. Например, водно-болотные угодья регулируют наводнения и защищают водные ресурсы во время засухи. В городах потребность в адаптации к изменению климата повышает значение зеленых насаждений, которые помогают бороться с повышенными температурами, способствуя охлаждению воздуха.

Российский и международный опыт показывают, что природосовместимые решения — это экономически жизнеспособный и устойчивый вариант. Так крыши зданий с дерновым покрытием (летом охлаждающие помещение, а зимой сохраняющие тепло) традиционны как для

¹ Источник: <https://hightech.fm/2020/10/13/climate-disasters> Посещение: 18.03.2024

² Здоровье среды означает ее состояние (качество), необходимое для обеспечения здоровья человека и других видов живых существ [5].

Норвегии, так и Кабардино-Балкарии на Кавказе в России. ПСР более эффективны в долгосрочной перспективе, чем не учитывающие особенности природы технологические инвестиции или строительство. Не случайно по мере распространения идей устойчивого развития в разработке и применении ПСР наблюдается их новое возрождение с использованием новых технологических возможностей XXI века.

В ходе работы применялись натурные наблюдения, моделирование и монографический методы. Для оценки уязвимости территорий использован программный комплекс InVEST. Для оценки годового объема и качества ливневых вод используется модель Urban Stormwater Retention Model. Обработка исходных данных проводилась в двух Геоинформационных системах – QGIS версии 3.24.3 и ArcGIS ArcMap версии 10.3. Карты–схемы разрабатывались в ГИС ArcGIS ArcMap версии 10.3.

Результаты. Наиболее уязвимый район на Куршской Косе: поселок Рыбачий. Годовой объем стока в населенном пункте более $276 \text{ м}^3/\text{год}$, а годовой объем удержания стока до $220 \text{ м}^3/\text{год}$ с коэффициентом фильтрации до $44 \text{ м}^3/\text{год}$; количество осадков в среднем составляет 732 мм в год. На территории поселка преобладают почвы с высоким потенциалом стока, состоящие на 20-40% из глины и на 50% из песка [7].

Для модернизации системы отвода и сбора дождевой воды предлагается реализация природосовместимых решений с внедрением в имеющуюся инфраструктуру. Исходя из характера грунтов и климата в поселке Рыбачий, для сбора дождевой воды предлагается использовать биосвалы и водопроницаемые парковки для автомобильного транспорта. Биосвалы — это не просто элемент ландшафтного дизайна, они являются неотъемлемой частью устойчивой дренажной системы. Биосвалы будут располагаться непосредственно на придомовой территории, собирая воду не только с дорожных и пешеходных покрытий, но и с крыш.

Очищенная вода по линейным биосвалам и системе дренажных труб будет поступать в водно-болотное угодье, которое служит не только местом накопления и очистки сточных вод. Конструкция биосвалов включает в себя слои специализированного грунта, гравия, дренажные системы с перфорированными трубопроводами и переливные механизмы для управления значительными объемами ливневых вод.

Опыт подобных решений существует и эффективно функционирует в зарубежных странах. Например, в Нью-Йорке функционируют более 5000 водно-болотных угодий, они обеспечивают среду обитания для диких животных, поглощают углекислый газ из атмосферы, помогают сделать город более устойчивым к изменению климата, уменьшают риск наводнений, а также собирают, задерживают и фильтруют ливневые воды по всему Нью-Йорку. По результатам моделирования и данным практического опыта различных стран было подобрано наиболее эффективное

для исследуемого участка природосовместимое решение, а именно, многофункциональное использование водно-болотных угодий.

На рис. 1 представлена карта-схема поселка Рыбачий с наглядным изображением расположения биосвалов, водно-болотных угодий, а также парковок с водопроницаемым покрытием.



Рис. 1. Карта-схема поселка Рыбачий

Выводы. В условиях нарастания климатических рисков возрастает туристическая нагрузка на экосистемы Куршской косы. В результате в сфере туризма и застройки территории обостряются противоречия между экономическими интересами бизнеса, а также местных жителей и существующими возможностями экосистем испытывать все возрастающую антропогенную нагрузку. Их смягчению служит широкое применение природосовместимых решений в проектировании пространственного и инфраструктурного развития.

Опыт экспериментальной апробации программного комплекса InVEST для оценки уязвимости экосистем на территории Куршской косы позволил подобрать наиболее подходящие для исследуемого участка природосовместимые решения. Показано, что многофункциональное использование водно-болотных угодий является перспективным инструментом во многих областях, который потенциально может конкурировать с лесонасаждениями с точки зрения потенциала смягчения последствий

изменения климата, а также для очистки поверхностного стока. Водно-болотные угодья выполняют множество других экосистемных функций, таких как снижение риска стихийных бедствий (например, они могут функционировать как противопожарные разрывы), повышение продовольственной безопасности и сохранение биоразнообразия.

Также отметим целесообразность широкого применения в п. Рыбачий на Куршской косе биосвалов³, которые эффективны с точки зрения очистки дождевых вод. Биосвалы снижают количество загрязняющих веществ, обеспечивают привлекательную среду обитания для животных, создают естественное пополнение запасов грунтовых вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фоменко Г.А.* Устойчивый экосистемный дизайн: основные черты и особенности: учебно-методическое пособие. Ярославль: АНО НИПИ «Кадастр», 2021. 136 с.
2. Устойчивый экосистемный дизайн: ГИС-технологии и моделирование: учебно-методическое пособие / науч. ред. Г.А. Фоменко. Ярославль: АНО НИПИ «Кадастр», 2023. 192 с.
3. *Бек У.* Общество риска. На пути к другому модерну. М.: Прогресс-Традиция, 2000.
4. *Фоменко М.А.* Алгоритм риск-менеджмента в обеспечении экологической безопасности населения в районе предприятия нефтепереработки / М.А. Фоменко, Г.А. Фоменко, Е.А. Скуратова // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2022. 13(4). С. 351–363. DOI: 10.17747/2618-947X-2022-4-351-363.
5. *Захаров В.М.* Здоровье среды: концепция. М.: Центр экологической политики России, 2000. 30 с.
6. Модель городского стока, предназначенная для обоснования решений по управлению ливневыми стоками / Н. Бек, Г. Конли, Л. Каннер, М. Матиас // Журнал экологического менеджмента. 2017. 269 с.
7. Государственный доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2021 году» / Министерство природных ресурсов и экологии Калининградской области. Калининград, 2022. 200 с.
8. CERTU, 2007. Végétaliser les villes pour atténuer les îlots de chaleur urbains, p2.

³ Биосвал или биофильтрационный вал – это узкая полоса растительности, которая перенаправляет и фильтрует ливневые воды. Источник: <https://centrselstroy.ru/biosvaly-konstruktsiya-primenenie-i-preimuschestva> (дата посещения: 18.03.24)

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ

И.С. Алешковская, В.А. Шилов

Научный руководитель – **В.А. Шилов**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

Статья посвящена исследованию потенциала геоинформационных систем (ГИС) в контексте градостроительства. Оценивается текущее использование ГИС в этой области, разрабатываются интегрированные методы их применения, обеспечивается стандартизация и взаимодействие данных. Исследуются будущие тенденции и возможности ГИС для эффективного и устойчивого развития городской среды.

Ключевые слова: геоинформационные системы (ГИС), градостроительство, интегрированные методы, устойчивое развитие

APPLICATION OF GIS-TECHNOLOGIES IN URBAN PLANNING

I.S. Aleshkovskaya, V.A. Shilov

Scientific Supervisor – **V.A. Shilov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

The article is devoted to the study of the potential of geographic information systems (GIS) in the context of urban planning. It assesses the current use of GIS in this field, develops integrated methods of their application, provides standardization and data interoperability. Future trends and opportunities of GIS for effective and sustainable development of urban environment are investigated.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS), urban planning, integrated methods, sustainable development

В условиях современного развития общества, преобразующегося под воздействием быстрого технологического прогресса и урбанизации, градостроительство становится ключевым элементом формирования комфортной и устойчивой городской среды. Одним из существенных инструментов, способствующих эффективному и устойчивому развитию городов, являются геоинформационные системы (ГИС). Они предоставляют возможность интеграции геопространственных данных, что обеспечивает лучшее понимание и управление градостроительными процессами.

Народнохозяйственное значение внедрения геоинформационных систем в градостроительство невозможно переоценить. Возможность анализа пространственных данных, учета территориальных особенностей и прогнозирования развития городов открывает новые горизонты для эффективного управления ресурсами и разработки градостроительных проектов [1].

Основной целью настоящего исследования является выявление потенциала геоинформационных систем в контексте градостроительства и формулирование задач для дальнейшего совершенствования методов и технологий применения ГИС. Подробный анализ проблемы позволит определить ключевые направления разработки, необходимые для повышения эффективности управления городскими пространствами. На рис. 1, согласно данным Росстата, показана динамика роста общей протяженности автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального или межмуниципального и местного значения с 2006 по 2022 года.

ГИС представляют собой системы, спроектированные для сбора, хранения, анализа, преобразования и визуализации геопространственных данных. В градостроительстве ГИС позволяют работать с информацией о земле, зданиях, инфраструктуре и других аспектах городской среды. Ключевым понятием в теории ГИС являются пространственные данные. Это информация, привязанная к конкретным географическим координатам. В градостроительстве такие данные включают в себя карты, планы зонирования, топографические сведения и многое другое.

Геоинформационные системы предоставляют градостроителям уникальные инструменты и возможности, которые значительно улучшают процессы планирования, анализа и управления городским пространством. В данном разделе отчета рассмотрим особенности использования ГИС в градостроительных работах. ГИС позволяют объединять разнообразные данные [1-3]:

- карты;
- демографические сведения,
- экономические показатели,
- земельные участки;
- данные об инфраструктуре, создавая единую информационную среду.

Это обеспечивает комплексное видение городской среды, необходимое для принятия обоснованных решений.

Одной из ключевых особенностей ГИС является возможность проведения пространственного анализа, что позволяет градостроителям выявлять тенденции, оптимизировать размещение объектов, а также моделировать различные сценарии развития городской среды.

Рассмотрим, насколько широко они используются в настоящее время и как может выглядеть их будущее применение.

ГИС используются для анализа территории, выбора оптимальных местоположений для новых строений, определения зонирования, а также для создания детальных планов развития городов. При инфраструктурном строительстве ГИС упрощают процессы строительства и управления инфраструктурой, позволяя эффективно планировать и координировать различные инженерные сети, дорожные системы и другие объекты. Кроме того, ГИС помогают оценивать воздействие градостроительных проектов на окружающую среду, контролировать природные ресурсы и вести мониторинг за изменениями в природной среде. ГИС используются для разработки систем мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, что позволяет лучше управлять рисками и эффективно реагировать на кризисные ситуации. ГИС позволяют собирать и анализировать разнообразные данные, такие как социальные, экономические, транспортные и другие, что обеспечивает более глубокий и широкий взгляд на городскую среду.

Далее рассмотрим применение ГИС в будущем [4-5].

С развитием концепции смарт-городов, ГИС будут играть ключевую роль в интеграции и управлении различными системами и технологиями, такими как Интернет вещей (IoT), автономные транспортные средства и системы энергетической эффективности. Также ГИС будут все более использоваться для создания трехмерных моделей городов, что улучшит визуализацию и позволит более точно моделировать и планировать градостроительные проекты.

Кроме того, применение искусственного интеллекта в сочетании с ГИС позволит создавать более точные прогнозы, оптимизировать процессы принятия решений и автоматизировать анализ больших объемов данных. ГИС будут все более интегрироваться в мобильные приложения, предоставляя гражданам и градостроителям доступ к важным геопространственным данным и сервисам.

Устойчивое градостроительство: ГИС будут активно применяться для улучшения устойчивости городской среды, планирования энергоэффективных решений, управления отходами и водными ресурсами.

Цифровая трансформация: Будущее использование ГИС связано с цифровой трансформацией градостроительных отраслей, где данные станут ключевым активом для принятия обоснованных и эффективных решений.

ГИС обеспечивают эффективный сбор и интеграцию различных видов данных, необходимых для разработки генерального плана. Так как ГИС предоставляют механизмы для эффективного управления и обновления геопространственных данных. Это важно для того, чтобы генеральный план оставался актуальным в условиях изменяющихся факторов, таких как урбанизация, изменения в инфраструктуре, и социальные трансформации. Результатом такой работы становится создание полно-

ценной градостроительной геоинформационной системы, которая вполне может рассматриваться как ядро территориальной (областной, районной, муниципальной) ГИС, так как градостроительная документация содержит в себе именно комплексное осмысление территории (см. рис. 1).

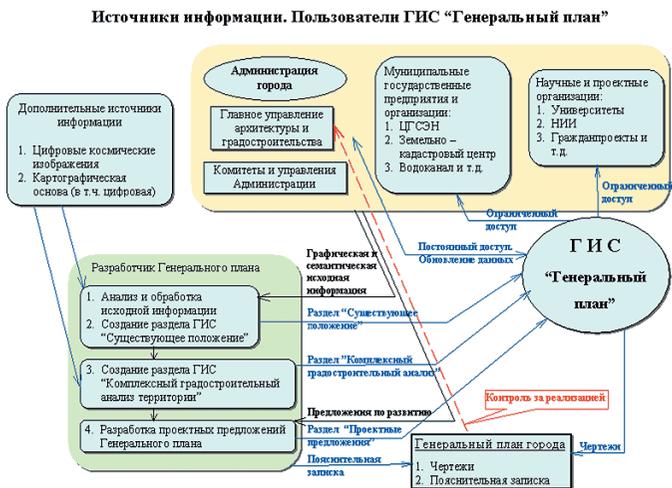


Рис. 1. Упрощенная схема разработки Генерального плана города с использованием ГИС-технологий [3]

В настоящее время в градостроительстве широко применяются цифровые космические изображения, которые позволяют совмещать на экране компьютера картографические слои и космическое изображение, что позволяет обновлять картографические материалы (рис. 2).



Рис. 2. Космический снимок Чебоксар, совмещенный с топографической основой

Кроме того, ГИС позволяют использовать масштабирование космического изображения – изучение территории от общего к частному и наоборот. Имеется возможность изучения города в целом, отдельными частями, конкретными участками, так как разрешение ряда космических изображений составляет от 1 до 10 м на местности (рис. 3, а, б).



Рис. 3. Космический снимок Чебоксар:

а – масштаба 1:10 000; *б* – масштаба 1:10 000 (город целиком)

Генеральный план разделен на блоки, что является стандартной практикой, которая позволяет структурировать и систематизировать информацию, делая ее более удобной для восприятия и использования. Каждый блок имеет свою уникальную значимость, и их разделение обусловлено необходимостью учета разнообразных аспектов, касающихся градостроительства и развития территории. ГИС «Генеральный план» состоит из следующих блоков (рис. 4):

1. Вспомогательный блок: 1а - цифровая топографическая основа; 1б - цифровое космическое изображение.
2. Архитектурно-планировочный блок: 2а - архитектурно-планировочная организация территории; 2б - градостроительная экономика.
3. Природно-экологический блок: 3а - природные и инженерно-геологические условия; 3б - загрязнение окружающей среды; 3в - охрана окружающей среды
4. Инженерно-инфраструктурный блок: 4а - транспортное обслуживание; 4б - инженерная инфраструктура; 4в - инженерная подготовка территории

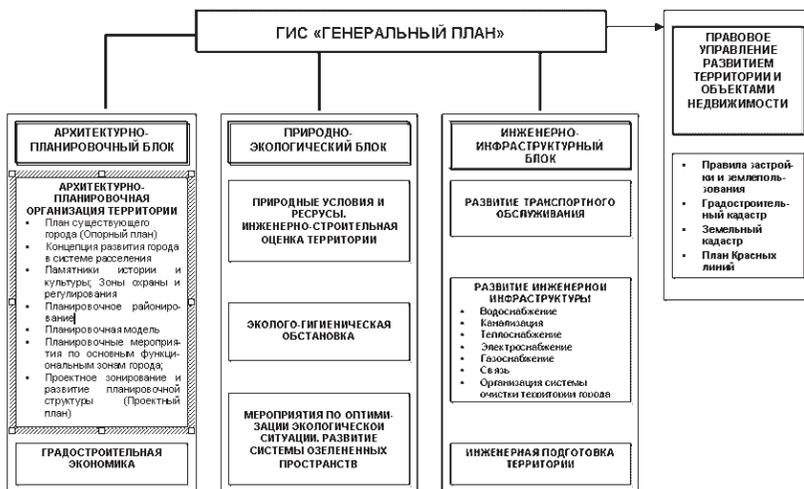


Рис. 4. Состав ГИС «Генеральный план»

Таким образом, в ходе анализа современного состояния теории и практики применения ГИС в градостроительстве было выявлено, что эти инструменты играют решающую роль в формировании устойчивых и развитых городских сред. ГИС предоставляют уникальные возможности для систематизации и анализа пространственных данных, что содействует более эффективному планированию и управлению территориями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГИС в градостроительном проектировании и управлении территориями. URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2001/08/05/gis-in-urban-planning-design/>
2. ГИС и градостроительство. URL: <https://files.scienceforum.ru/pdf/2020/5e202edbb953f.pdf>
3. ГИС: градостроительное проектирование и управление территориями. URL: <https://mosmap.ru/support/community/articles/gis-gradostroitelnoe-proektirovanie-i-upravlenie-territoriyami.html>
4. ГИС в Главном архитектурно-планировочном управлении г. Москвы. URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2001/08/17/gis-in-architectural-and-planning-department/>
5. Опыт Ярославской области: создание центра компетенций по развитию ИПД. URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2016/03/16/yaroslavl-region-experience/>

УСТРОЙСТВО АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Е.А. Веревкина, Р.Д. Половченя, А.А. Шестаков, В.А. Шилов

Научный руководитель – **В.А. Шилов**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматриваются вопросы устройства дорожных покрытий в условиях низких температур. Основное внимание уделяется выбору материалов, таких как холодостойкие добавки к битуму, и инновационных технологий для обеспечения структурной целостности покрытий.

***Ключевые слова:** автомобильные дороги, асфальтобетон, низкие температуры*

ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS AT SUB-ZERO TEMPERATURES

E.A. Verevkin, R.D. Polovchenya, A.A. Shestakov, V.A. Shilov

Scientific Supervisor – **V.A. Shilov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

The article deals with the issues of pavement construction in low temperature conditions. The main focus is on the choice of materials, such as cold-resistant bitumen additives, and innovative technologies to ensure the structural integrity of pavements.

***Keywords:** highways, asphalt concrete, low temperatures*

В последние годы в России частью стратегии современного развития страны является активное строительство и реконструкция автомобильной инфраструктуры. Отсюда возникает тенденция увеличения общей протяженности автомобильных дорог. С развитием дорожной инфраструктуры в России инженеры внедряют новые технологии для улучшения безопасности и комфорта на дорогах. Федеральные и региональные власти в России выдвигают инициативные проекты и вкладывают значительные средства в развитие инфраструктуры автомобильных дорог. Программы государственных инвестиций направлены на строительство новых автомагистралей и реконструкцию существующих. Про-

екты такого масштаба включают не только расширение дорожной сети, но и внедрение современных технологий, например, интеллектуальных систем управления транспортом.

На рис. 1, по данным Росстата определена динамика роста общей протяженности автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального или межмуниципального и местного значения с 2006 по 2022 года.



Рис. 1. Динамика увеличения общей протяженности автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального или межмуниципального и местного значения

По сравнению с 2006 годом сегодня протяжённость дорог РФ возросла более чем в два раза. Значительный рост наблюдается в 2012 году, когда протяженность автомобильных дорог общего пользования по сравнению с предыдущим годом увеличилась на 37,8%. Данная ситуация объясняется тем, что в 2012 произошли изменения в методике учета протяжённости дорог. К местным дорогам стали относить все дворы, которые раньше не учитывались. Однако данные участки, являющиеся источниками прироста общего показателя, оставались в неудовлетворительном состоянии, зачастую не имея твердого покрытия – 43% из них не имели твердого покрытия.

Согласно статистическим данным Росстата выполнен анализ динамики доли автомобильных дорог общего пользования, соответствующих нормативным требованиям, в течение периода с 2007 по 2022 год

(рис. 2). Данные были разбиты на две категории – «Регионального или межмуниципального значения» и «Местного значения».

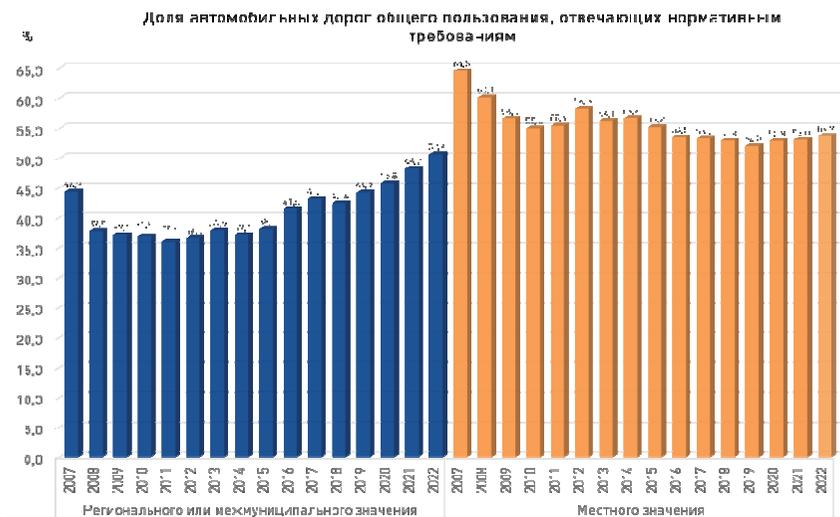


Рис. 2. Доля автомобильных дорог общего пользования, отвечающих нормативным требованиям

Анализируя статистику по дорогам регионального и межмуниципального значения, в период с 2007 по 2014 год наблюдается устойчивый тренд к повышению доли дорог, не соответствующих нормам. Однако в 2015 году происходит стабилизация показателя и последующий его равномерный рост [2]. Таким образом, с 2007 года процент дорог отвечающих нормативам увеличивается. В отличие от региональных, местные дороги показывают более заметные колебания в соответствии с нормативами. С 2007 по 2010 год доля дорог, соответствующих стандартам, снижалась, особенно резко в 2008 году. Однако в последующие годы наблюдается также нестабилизированная ситуация. В последние годы доля местных дорог, соответствующих нормам, остается в диапазоне от 50 до 54%. Однако общий тренд показывает, что доля автомобильных дорог, соответствующих нормативам, стабильно растет в региональном и межмуниципальном масштабе, в то время как у местных дорог наблюдается более переменчивая динамика. Основными причинами изменений является нестабильность политической, экономической обстановки РФ в различные периоды времени. Несмотря на возникающие сложности, благодаря внедрению инновационных технологий в части строительства и эксплуатации автомобильных дорог, управление и технического надзора

наблюдается умеренно-стабилизированный рост показателей качества автомобильных дорог.

Асфальтобетонные покрытия, несмотря на свою широкую распространенность, подвержены образованию различных дефектов, которые могут влиять на их целостность, долговечность и безопасность. Рассмотрим наиболее распространенные дефекты асфальтобетонного дорожного покрытия [1-3].

1. Трещины. Наиболее распространённым дефектом дорожного покрытия любого территориального образования являются трещины. Причиной образования является совокупность факторов переменной нагрузки на покрытие от движения транспортных средств и периодичное изменения климатических показателей, что создает изгибающие и растягивающие напряжение во всех слоях дорожной одежды. Трещины возникают, если растягивающие напряжения в любой части дорожного полотна больше допустимых прочностных характеристик растяжения веществ, составляющих любой слой дороги. Следующим фактором является температурное расширение и сжатие асфальтобетона.

2. Выбоины. Разрушения в виде углублений в покрытии с чёткими границами могут появляться на любых видах дорог. Их появление связано с отсутствием необходимого сопротивления касательным и нормальным воздействиям от объектов, перемещающихся по дороге, а также воздействием внешних природных факторов. Процесс образования состоит в выбивании частиц внешнего дорожного покрытия или вымывания водой составляющих полотна.

3. Сдвиги. Перемещение верхнего дорожного покрытия на рядом расположенный участок. Дефект почти всегда проявляется при содержании в составе верхнего дорожного покрытия органических вяжущих. Возникает на значительных изменениях профиля дороги по высоте или на местах резкого изменения скорости транспортных средств. Образуется по причине повышенных показателей пластичности, при превышении нормативного количества вяжущего в смеси слоя, а также недостаточном коэффициенте теплоустойчивости материалов при высоких температурах.

4. Просадки. Коллейность. Искажения профиля верхнего дорожного покрытия в форме круглых впадин или колеи. Причинами появления являются: неправильный подбор смеси верхнего покрытия (прежде всего органического вяжущего), нарушение горизонтального профиля основания дороги при его укатке с образованием различных по плотности участков, нарушение временного порядка укладки слоев, неправильный расчет нагрузки от объектов, воздействующих на дорожное полотно. Появляется на любых видах покрытий. Может привести к проломам дорожного полотна.

5. Проломы. Полное разрушение всей дорожной одежды, при этом значительно изменяется профиль дороги. Основные причины: неправильный расчет глубины промерзания и времени оттаивания земляного полотна, существенные нарушения в расчётах прочностных параметров всего дорожного покрытия, отсутствие прочностных расчётов, грубое нарушение технологии укладки (под влиянием природных факторов), пластичность одного или нескольких слоёв дорожной одежды. Участок дороги с наличием проломов ремонту не подлежит.

В связи с ростом протяженности дорог время строительного сезона увеличивается. Для повышения безопасности и качества необходим комплексный подход к проектированию и строительству. Для исключения возникающих дефектов, а также с целью снижения затрат на содержание автомобильной в течение ее жизненного цикла, применяются современные технологии, в том числе строительства при неблагоприятных погодных условиях. Устройство слоев покрытий при неблагоприятных погодных условиях включает подготовительные работы, устройство слоев, расчет технологических параметров, контроль качества выполнения работ. Работы по устройству асфальтобетонных покрытий следует проводить при температуре окружающего воздуха не ниже минус 10 °С, при этом совместное воздействию ветра и температуры (охлаждающий эффект) не должно быть ниже минус 10 °С. При выпадении осадков в виде дождя или снега устройство асфальтобетонных покрытий не допускается. Допускается проведение работ в случае морозящего дождя и слабого снега, на предварительно подготовленный согласно нижележащий слой.

При устройстве асфальтобетонных слоев в условиях пониженной температуры воздуха особое внимание обращают на эффективную организацию проведения работ, определяющую темп строительства асфальтобетонного покрытия. Требуемое качество уплотнения горячей асфальтобетонной смеси при пониженной температуре воздуха можно обеспечить при условии: использования асфальтоукладчиков обеспечивающих высокую степень предварительного уплотнения уложенного слоя, правильного выбора типов катков, выполнения минимально необходимой работы уплотняющих машин, а также соблюдения рациональных температурных интервалов уплотнения асфальтобетонной смеси на различных этапах ее уплотнения.

Для предотвращения образования снежных и ледяных корок на основании в осеннее время, стандарт рекомендует предварительную обработку поверхности основания битумом, закрывая участок для движения транспортных средств [4]. Вместо реагентов можно использовать терморазогреватели, такие как газоструйные или с газовыми инфракрасными горелками (рис. 3).

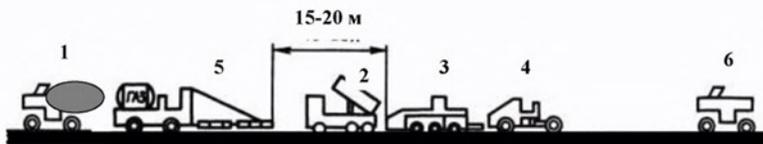


Рис. 3. Схемы нагрева основания при устройстве покрытия):

1 - автогудронатор; 2 - автомобиль-самосвал; 3 - асфальтоукладчик; 4 - каток гладковальцовый; 5 - терморазогреватель; 6 - каток на пневматических шинах [5]

Антисегрегационный перегружатель, оборудованный антисегрегационным многоступенчатым шнеком и поворотным выгружающим конвейером, уменьшает простой автомобилей со смесью, повышая производительность процесса укладки (рис. 4).

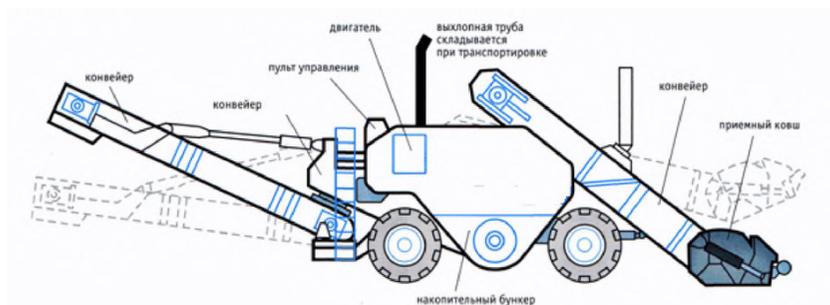


Рис. 4. Антисегрегационный перегружатель асфальтобетонной смеси

Таким образом, для замедления остывания асфальтобетонного слоя при пониженной температуре воздуха рекомендуется выполнять следующий комплекс мероприятий и технологий:

1. Увеличение толщины слоя: рекомендуется устраивать слой толщиной не менее 6 см.

2. Устройство двух слоев одновременно ("компакт-асфальт"): процесс укладки двух слоев асфальтобетона одновременно способствует медленному остыванию и сохранению тепла между слоями (рис. 4).

3. Теплоизоляционные пологи: использование теплоизоляционных пологов, таких как брезентовые полотнища или резиновые коврики, позволяет уменьшить скорость потери температуры асфальтобетонным слоем.

4. Применение пневмоколесных катков с укрывающими "фартуками": это также помогает уменьшить потери тепла.

5. Заполнение водяных баков гладковальцовых катков горячей водой или водно-соляной смесью: это способствует сохранению тепла в асфальтобетонном слое.

6. Комбинация вышеперечисленных мероприятий: использование совокупности этих мер позволяет более эффективно замедлять процесс остывания асфальтобетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 58831-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Покрытие асфальтобетонные. Общие правила устройства при неблагоприятных погодных условиях. Москва: Стандартинформ, 2020. 18 с.
2. ОДМ 218.3.102-2017. Методические рекомендации по устройству асфальтобетонных покрытий при неблагоприятных погодных условиях / Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР). Москва, 2019. 50 с.
3. Сафонов Р.А. Типичные дефекты верхнего дорожного покрытия в России // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2020. Т. 20, № 1. С. 75–84. DOI: 10.14529/build200210
4. Рыбачук Н.А. Старение битумного вяжущего // Вестник ИрГТУ. 2015. №2 (97). С 120-125.
5. Бехзоди Б. Моделирование тепловых процессов при строительстве покрытий нежесткого типа с применением холодных асфальтобетонных смесей / Б. Бехзоди, К.А. Андрианов, А.Ф. Зубков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23, № 2. С 146-161.

РАЗРАБОТКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЩЕСТВЕННОГО ПРОСТРАНСТВА НА ПЛОЩАДИ ТРУДА Г. ЯРОСЛАВЛЯ ПРИ ПОМОЩИ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Д.А. Митягин, В.А. Шилов

Научный руководитель – **В.А. Шилов**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

Целью настоящего исследования является создание устойчивого и инновационного городского пространства, объединяющего зеленые технологии, социокультурные ценности и экономическую эффективность, с целью преобразования территории на пл. Труда г. Ярославля. Итогом проекта является решение ряда актуальных проблем урбанизированной территории, связанных с экологической устойчивостью городской инфраструктуры.

Ключевые слова: *геоэкология, ГИС-технологии, зеленая инфраструктура*

DEVELOPMENT OF A GEOLOGICAL MODEL OF THE PUBLIC SPACE ON THE LABOR SQUARE IN YAROSLAVL USING GIS TECHNOLOGIES

D.A. Mityagin, V.A. Shilov

Scientific Supervisor – **V.A. Shilov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

The purpose of this study is to create a sustainable and innovative urban space combining green technologies, socio-cultural values and economic efficiency, in order to transform the territory on the Labor Square of Yaroslavl. The result of the project is the solution of a number of urgent problems of the urbanized territory related to the ecological sustainability of urban infrastructure.

Keywords: *geoecology, GIS technologies, green infrastructure*

С увеличением урбанизации, особенно в городах с историческим и культурным наследием, как Ярославль, вопросы обеспечения экологического баланса в городской среде становятся более актуальными. Город сталкивается с современными задачами, связанные роста плотности населения, неэффективным использованием территорий и ухудшением эко-

логии. Геоэкологические аспекты взаимодействия городских территорий с природой, водными ресурсами и воздухом привлекают все больше внимания в свете стремительного городского развития. Увеличение густоты застройки и расширение городских функций несут потенциальные угрозы для экосистемы и климатического комфорта. Парки и скверы, такие как площадь Труда, являются центральными пространствами города, выступают как символ сочетания между индустриальным развитием и сохранением природы. Однако, с ростом городского населения и развитием инфраструктуры, это пространство нуждается в инновационных решениях для поддержания баланса между городской интенсивностью и зелеными зонами.

Разработка геологической модели общественного пространства с использованием ГИС-технологий представляет собой инновационный проект, направленный на создание зеленой территории внутри города, способной привлекать местных жителей и туристов. Проект ориентирован на улучшение экологии и энергоэффективности зданий, с учетом использования современных программ моделирования и проектирования.

На данный момент на площади Труда, которая занимает территорию в 32000 м², находится 10 земельных участков с кадастровой стоимостью около 56 млн руб. Здесь располагаются 17 организаций, включая Трансэнергосбыт, IZI kitchen, Vallistep beauty Tower, АвтоДвор76, Carwash Detailing, предоставляют рабочие места для 70-80 человек (рис. 1). Такие количественные показатели свидетельствуют о значительной загруженности этой территории и необходимости улучшения ее инфраструктуры.



Рис. 1. Схема рассматриваемой территории по данным сервиса Яндекс-карты

Во время разработки проекта использовались современные методы геодезии, кадастрового анализа и моделирования с применением САПР и ГИС-технологий. Акцент делался на понимании существующих проблем, включая интенсивное использование территории, неэффективное про-

странственное планирование и неудовлетворительное состояние окружающей среды.

Центральной концепцией проекта является создание инновационного зеленого острова внутри городской среды. Этот подход предполагает совмещение рабочих пространств и жилых зон с богатой растительностью, создавая уникальное гармоничное окружение (рис. 2).



Рис. 2. Зонирование исследуемой территории

В статье в соответствии с генпланом г. Ярославля (рис. 3, *a-в*) проведено исследование существующей инфраструктуры на территории площади Труда. Для последующего анализа при помощи САПР были смоделированы системы дождевой канализации, газопроводы и сети электроснабжения.

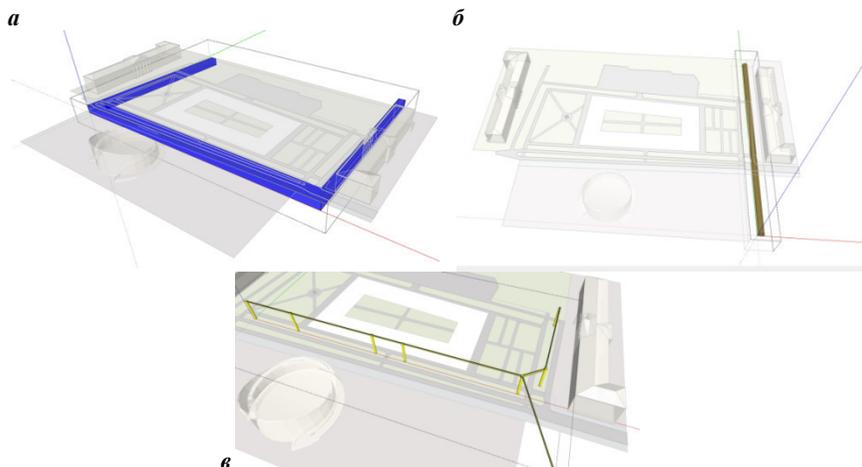


Рис. 3. Сетевые коммуникации площади Труда г. Ярославля:
a – сети дождевой канализации; *б* – газопровод; *в* – сети электроснабжения

Реорганизация территории с заменой высотной застройки на малоэтажные здания совместно с зонами рекреации и обширными парковыми площадками, позволяет вписать новое здание в исторический контекст Ярославля. Парковочные площади, оформленные с использованием дренажных систем и бетонных решеток вместо традиционного покрытия, обеспечивают не только эффективное использование пространства, но и минимизацию экологического воздействия на грунт.

Анализ сетей помог определить оптимальные пути распределения воды с поверхности, что стало основой для разработки парковочных зон с использованием бетонных решеток. Обнаружено, что существующая дождевая канализация, проходит под проезжей частью дорог вокруг площади. Газопровод проходит параллельно ул. Победы. Особое внимание уделялось отсутствию высоковольтных линий электропередач и наличию локального энергоснабжения от ближайших подключенных по проводам источников. Это позволило предложить устойчивые решения для энергоснабжения и управления электроэнергией на территории проекта.

Одним из значимых результатов проекта является внедрение экологически безопасных парковочных зон. Предложено создание экопарковок, основанных на георешетках (рис. 4). Эти инновационные парковочные площади помимо функции организации автостоянок также служат средством укрепления склонов с небольшим уклоном. Недостатки, такие как обрезание травы и потенциальные проблемы с выхлопными газами, были учтены при проектировании исходя из лучших практик в области устройства экопарковок. Экопарковки имеют ряд преимуществ: они обеспечивают сбережение средств при устройстве, способствуют восстановлению природы в городской среде, и могут использоваться для улучшения микроклимата на площади Труда. Помимо этого, предусмотрено периодическое изменение парковочных мест автомобилями для предотвращения ущерба травянистому покрытию.

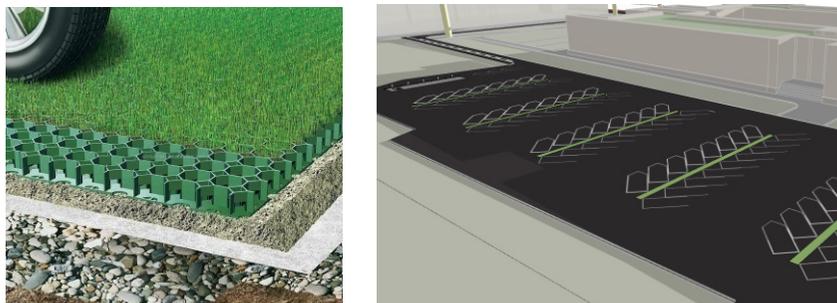


Рис. 4. Экопарковка

В рамках проекта предусмотрено использование зелёных крыш на планируемом здании. Зелёные крыши обладают множеством преимуществ, среди которых поглощение дождевой воды, защита от городского шума и регулирование температуры внутри здания (рис. 5). В данном случае, кроме экологических преимуществ, зелёная крыша может стать дополнительным элементом ландшафтного дизайна, вписываясь в общую концепцию создания экосистемы в центре города. Однако следует отметить, что зелёные крыши требуют специального ухода и обслуживания, также учитывается стоимость их установки. В то же время эти затраты компенсируются снижением расходов на кондиционирование, увеличением срока службы кровельных конструкций, и, конечно, созданием благоприятной среды для горожан и флоры.

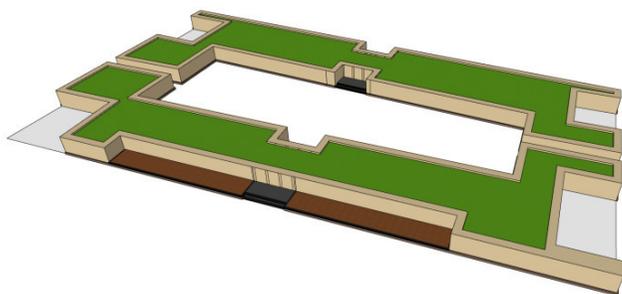


Рис. 5. Модель устройства зеленой крыши для проектируемого здания

Внедрение современных технологий и учет экологических аспектов делают его актуальным и важным шагом в создании сбалансированного и устойчивого городского пространства в Ярославле (рис. 6).



Рис. 6. Итоговая модель проекта

Таким образом, проект не только решает конкретные проблемы, связанные с неэффективным использованием территории, но и предлагает модель устойчивого городского развития:

1. Реализация проекта создания экологического пространства на площади Труда в г. Ярославле открывает перспективу возникновения нового зелёного острова внутри города. Этот инновационный подход привлечет внимание как местных жителей, так и туристов, предоставляя уникальное пространство для работы и отдыха.

2. Внедрение современных технологий, таких как эко-парковки и зелёные крыши, делает проект экологически устойчивым и энергоэффективным. Эти инновации не только снижают негативное воздействие на окружающую среду, но и приводят к более эффективному использованию ресурсов.

3. Применение современных программ моделирования и проектирования (CAD systems) в процессе создания концепции площади Труда значительно улучшает территориальное планирование. Это позволяет более точно прогнозировать и оптимизировать использование пространства с учетом всех факторов.

4. План замены высоких башен низкоэтажными зданиями, соответствующими историческому контексту города, подчеркивает важность сохранения архитектурного наследия. Это содействует гармоничному взаимодействию нового объекта с окружающей застройкой.

5. Комплексное использование площади Труда подразумевает не только коммерческие, но и социальные функции. Предполагается создание новых рабочих мест, обеспечение удобств для горожан и туристов, что содействует не только развитию бизнеса, но и повышению качества городской среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генеральный план г. Ярославля. URL: <https://triptonkosti.ru/19-foto/generalnyj-plan-yaroslavlya.html>
2. Публичная кадастровая карта. URL: <https://pkk.kartagov.net/karta>
3. Кадастровая карта. URL: <https://кадастроваякарта.онлайн>
4. Геопортал Ярославской области. URL: <https://gis76.ru/map>
5. Яндекс карты. URL: <https://yandex.ru/maps>

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ПРОХОДИМОСТИ МАШИН

Д.П. Бобарыкин, М.С. Балунув

Научный руководитель – **М.С. Балунув**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются способы повышения эффективности развития аддитивных технологий альтернативной традиционному производству, требующему огромных инвестиций и ресурсов.

Ключевые слова: *производство, усовершенствование, экология, экономия*

DEVELOPMENT PROSPECTS AND MEANS OF INCREASING THE CROSS-COUNTRY ABILITY OF CARS

D.P. Bobarykin, M.S. Balunov

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The ways of increasing the efficiency of the development of additive technologies to alternative traditional production, which requires huge investments and resources, are considered.

Keywords: *production, improvement, ecology, economy*

Один из важных вопросов автолюбителей - улучшение проходимости своего автомобиля, совершенствование его тяговых свойств по скользким и мягким дорогам. Для ровного движения по дороге требуется хороший протектор и соответствующая погодным условиям шина.

Давление в колесах - инструмент, который при грамотном использовании может облегчить жизнь с минимальными для автолюбителя затратами ресурсов. Несомненно, давление в колесах зависит от таких факторов, как характер покрытия, вес автомобиля, размер колес, тип резины (диагональная, радиальная, бескамерная) и скорость, жесткость (мягкость) боковин, и т.д. При этом все перечисленное находится в непосредственной взаимосвязи друг с другом.

Если на автомобиле радиальная бескамерная резина, то снижать давление менее 1,2 атмосфер не стоит. Лучшие результаты дает 1,5 атмосферы. Но уже при таких давлениях в шине вероятен риск разбортировки, особенно при резком наезде на препятствие, повороте или на крутом склоне. Важно быть осторожными. Важно помнить, что низкие давления требуют и невысоких скоростей – до 60 км/ч. В противном случае возможен перегрев и, соответственно, разрыв корда. Необходимо исключить наезды на острые предметы, они могут порвать боковины колеса. Если вставить камеру в покрышку, то можно избежать самостоятельной разбортировки колёс.

Эффективнее будет спускать колеса на твердой ровной поверхности, заблаговременно до преодоления трудного участка. Обязательно следует проверить давление в колесах с помощью манометра, оно должно быть одинаковым во всех колесах, иначе машина будет ехать непредсказуемо. Важным определяющим фактором является визуальное искажение колеса, а не только количество атмосфер.

Необходимо помнить, что после разбортирования, а также при длительной езде на испорченном колесе балансировка нарушается, и при первом же удобном случае ее необходимо восстановить.

Одним из способов повышения проходимости на дорогах при полном проскальзывании одного из ведущих колёс является искусственная фиксация дифференциала путём подтормаживания основных колёс вплоть до полного или частичного исключения проскальзывания центральных колёс. Эти два способа достигаемы всегда, без предварительной для этого подготовки.

Пути повышения проходимости автомобиля с предварительной подготовкой к езде по сложным участкам дорог:

Браслеты противоскольжения помогают передвигаться по рыхлому или скользкому грунту. Их легко установить на колесо, застрявшее в грязи или снегу автомобиля, а после преодоления трудного участка и выезде на трассу легко снять. Двигаться рекомендуется со скоростью не более 30 км/ч.

Цепи противоскольжения на машине выполняют функцию протектора, который позволяет привычные покрышки превратить в резину для езды по бездорожью. Цепи бывают трех видов: типа «лесенка», «треугольник» и «сота». «Лесенка» и «треугольник» дешевле и легче, однако из-за конструктивных особенностей проигрывают по проходимости «сотам». Простые поперечины, выполненные из цепи, вонзаются в снег или грязь и помогают вылезти автомобилю из довольно сложных ситуаций. Более острые соты предназначены для тяжелого шоссе.

Цепи на колесах в разы увеличивают показатели проходимости транспортного средства по заснеженным дорогам, гололеду и большим

грязевым скоплениям. Этому способствует два фактора: улучшенное сцепление колес и улучшенная управляемость.

Преимущества цепей противоскольжения: легкость установки и демонтажа; в цепях, предназначенных для зимних условий, имеется замок – для еще более удобной установки; при использовании цепей только на целевых участках дороги срок их эксплуатации практически неограничен; возможность установки на стационарные автомобили без необходимости применения «наездов». При использовании цепей противоскольжения необходимо учитывать, что они увеличивают расход топлива и ограничивают скорость движения авто до 50 км/ч.

Траковые цепи. Применение данных изделий будет очень актуальным при перемещении по заснеженной или болотистой местности, а также необходимы на мокрой грунтовой дороге. Но здесь крайне важно организовать правильное натяжение, которое несложно проверяется: трак должен подниматься пальцем над колесом на высоту около 5-8 мм.

Противобуксаторы помогут преодолеть трудный участок дороги. Данные приспособления очень пригодятся, если необходимо выбраться из какого-либо серьезного препятствия, вставшего на пути. Перед тем, как производить монтаж противобуксаторов, по возможности на ведущие (желательно задние) колеса закрепить цепи-браслеты. В этом случае автомобиль гораздо быстрее преодолеет преграду.

К подручным средствам повышения проходимости автомобилей относятся: дорожки из прутьев, хвороста; песок; дерн и деревянные ваги для вывешивания застрявших колес автомобиля.

Также можно использовать лебёдку из подручных средств. Для этого потребуется две слеги, буксировочный трос, лопата или бур, верёвка. Нужно перпендикулярно скрепить две слеги, выкопать аккуратное отверстие в почве, вставить туда слегу, закрепить, чтобы она сильно не шаталась. Чуть выше над уровнем почвы закрепить трос за слегу и сделать несколько оборотов слеги. Закрепить второй конец троса к буксировочной петле автомобиля и, вращая вставленную в землю слегу с помощью второй, закреплённой на ней, вытащить автомобиль из «капкана».

Итак, в ходе исследования было выявлено, что на первом месте из способов повышения проходимости автомобиля по популярности среди водителей занимают подручные средства. Второе-третье места занимают искусственная блокировка дифференциала и способ снижения давления в шинах. Четвёртое отдано браслетам противоскольжения. Пятое – установке цепей противоскольжения. Шестое – противобуксаторам. Седьмое место заняла лебёдка из подручных средств. И, наконец, на последнем месте - траковые цепи.

В перспективе развитие покрышек нового поколения универсального назначения. Они позволяют сохранить хорошее сцепление с поверх-

ностью на всех типах дорожного покрытия при помощи адаптации. Впервые модель такой покрышки была представлена на выставке AutoExpo 2016 в Дели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двигатели внутреннего сгорания. Т. IV-14 / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков и др.; под общ ред. А.А. Александрова и Н.А. Иващенко. М., 2013.
2. *Грехов Л.В.* Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. М.: Легион-Автодата, 2004.
3. Перспективы развития двигателей внутреннего сгорания. URL: <https://avtonov.info/perspektivy-dvs>

ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВОЕННУЮ ТЕХНИКУ

А.Е. Гладышев, А.С. Кутумов, М.С. Балунов

Научный руководитель – **М.С. Балунов**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются образцы вооружения и военной техники, использующие искусственный интеллект и перспективы внедрения ИИ с военную технику.

***Ключевые слова:** искусственный интеллект, военная техника, производство, промышленность*

THE INTRODUCTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO MILITARY EQUIPMENT

A.E. Gladyshev, A.S. Kutumov, M.S. Balunov

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

Samples of weapons and military equipment using artificial intelligence and prospects for the introduction of AI with military equipment are considered.

***Keywords:** artificial intelligence, military equipment, production, industry*

Искусственный интеллект занимает особое место среди направлений научно-технологического развития. Его особенность заключается в уникальном потенциале, способном изменить не только геополитическое пространство нашей планеты, но и весь характер человеческого бытия. Это перспектива. Пока же, в настоящий момент нашего исторического развития, искусственный интеллект представляет собой набор в различной степени развитых технологий, выполняющих вспомогательные, инструментальные функции.

Одним из ключевых направлений развития искусственного интеллекта является его использование в военной сфере. Ведущие страны мира проводят активную работу в этом направлении, разрабатывая собственные стратегии и планы развития искусственного интеллекта. Некоторые

проекты успешно завершены и их результаты находят практическое применение, а другие пока остаются на ранних стадиях, но их перспективы уже ясны.

История вопроса. Отечественные исследования по теме ИИ и разработка отдельных технологий такого рода для внедрения в реальные проекты началась еще несколько десятилетий назад. В качестве примера раннего применения таких технологий нередко приводят советскую противокорабельную ракету П-700 «Гранит». Она создавалась в ОКБ-52 НПО машиностроения в течение семидесятых годов и поступила на вооружение ВМФ в 1983 г. От предыдущих отечественных ПКР ее отличала более развитая система управления с некоторыми интеллектуальными функциями.

Последние достижения. К настоящему времени успешно создано новое поколение систем ИИ. Первые образцы техники, оснащенные такими средствами, уже поступают на вооружение. Также проводятся испытания других разработок, которые тоже вскоре попадут в армию. Подобные работы охватывают несколько направлений и осуществляются в интересах сухопутных войск, флота и военно-воздушных сил.

Дальше всех на данный момент продвинулся сухопутный РТК «Уран-9» разработки компании «766 УПТК». После прохождения всех необходимых испытаний, в 2019 г. этот комплекс был принят на вооружение. Сейчас продолжается производство серийных изделий, а войска осваивают новую технику. В ходе недавних учений «Запад-2021» комплекс «Уран-9» впервые использовали в одних боевых порядках с «обычной» техникой сухопутных войск.

РТК «Уран-9» представляет собой самоходную гусеничную машину с боевым модулем, оснащенным пушечно-пулеметным и реактивным вооружением. В автономном режиме, используя ИИ, такой робот способен двигаться по заданному маршруту, вести наблюдение, искать и поражать цели.

С применением ИИ построена система управления перспективным БПЛА С-70 «Охотник», разрабатываемого фирмой «Сухой» для ВКС. В настоящее время такой беспилотник проходит необходимые летные и иные испытания. По известным данным, отрабатывается как самостоятельное выполнение задач, так и групповое применение под управлением пилотируемого истребителя.

Ожидается, что ИИ «Охотника» будет полностью решать задачи пилотирования с прохождением по заданному маршруту и решением поставленных задач. БПЛА сможет вести разведку и вскрывать оборону противника, а также наносить удары по наземным целям.

Задел на будущее. Параллельно с разработкой техники для поставки в войска ведутся необходимые исследования и создается научно-

технический задел для следующих проектов. Одни программы такого рода уже доведены до испытаний, и об их ходе регулярно отчитываются, а другие пока остаются секретными.

Большую роль в этих процессах играет программа «Маркер», реализуемая Фондом перспективных исследований. Ее целью является создание комплекса управления с ИИ, пригодного для использования на разных платформах. Проектирование такого комплекса уже завершено, а также построено несколько опытных РТК разного облика. Сейчас они проходят разнообразные испытания, в т.ч. в условиях реальной эксплуатации.

По результатам проекта «Маркер» появится унифицированная система управления с ИИ, пригодная для использования в разных наземных РТК. Ее наличие значительно упростит разработку, производство и эксплуатацию новых роботов, т.к. их создателям не придется с нуля проектировать наиболее сложные компоненты.

Весной прошлого года Минобороны запустило закрытый конкурс на проведение НИР «Исследования по созданию экспериментального образца комплекса разработки, обучения и реализации глубоких нейронных сетей для нового поколения военных систем с искусственным интеллектом».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рассел С. Искусственный интеллект. Современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. М.: Диалектика-Вильямс, 2022.
2. *Гарбук С.В.* Искусственный интеллект в ведущих странах мира: стратегии развития и военное применение / С.В. Гарбук, А.М. Губинский. М.: Знание, 2020.
3. Искусственный интеллект в российской армии. URL: <https://topwar.ru/189298-iskusstvennyj-intellekt-v-rossijskoj-armii.html>

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЕЙ. КАК ОНИ БУДУТ ВЫГЛЯДЕТЬ В БЛИЖАЙШЕЕ ВРЕМЯ

Д.И. Кияницкий, М.С. Балунов

Научный руководитель – **М.С. Балунов**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются перспективы развития автомобилей, что уже придумали и что ждет нас в ближайшем будущем

Ключевые слова: технологии, будущее, экономика

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF CARS. HOW THEY WILL LOOK IN THE NEAR FUTURE

D.I.Kiyanitsky, M.S. Balunov

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The prospects for the development of cars are being considered, what has already been thought up and what awaits us in the near future

Keywords: technology, the future, economy

Одной из привычных частей нашего существования является автомобиль. Скорее всего, они станут частью будущего, ведь люди всегда будут куда-то двигаться. Как будут выглядеть машины будущего? Будут ли они умнее человека? Как в будущем собираются решать эту проблему?

Электрокары. Одно из решений, разрабатываемых и внедряемых уже сейчас, – это, разумеется, электромобили. Это машины, которые приводятся в движение не привычным нам двигателем внутреннего сгорания, а одним или несколькими электродвигателями. Последние заряжаются от независимого источника электроэнергии – аккумулятора.

Любопытно то, что электромобиль как таковой появился раньше, чем двигатель внутреннего сгорания: его в 1828 году придумал Аньош Едлик, венгерский изобретатель. Сейчас электромобили производят множество компаний в самых разных частях мира: от США до Китая. Все знакомы с автомобилем Tesla Илона Маска, на электричество переводят свои автомобили гиганты Volvo, Volkswagen и Bentley.

Однако с электричеством не все идеально: помните, что такие машины работают от литиевых батареек. Сейчас добыча лития ведется очень интенсивно: для добычи его тонны требовалось не менее 250 тонн породы, при переработке которой выделяется много вредного углекислого газа. И это только половина дела. Самая большая проблема состоит в том, что аккумуляторы еще не научились утилизировать или перерабатывать. Поэтому будущее электромобилей со всем оборудованием и специальной ценой связано с вопросом переработки и устранения лития и кобальта.

Водородное топливо. Второй метод обеспечения «зелености» автомобилей заключается в использовании водородного топлива. В данном случае установлен тот же электромотор, что и в предыдущем варианте, однако энергия не поступает от аккумулятора, а генерируется в результате химической реакции. Топливной элемент автомобиля можно сравнить с реактором, в котором водород поступает с одной стороны, а кислород с другой. При этом происходит химическая реакция, в результате которой протоны проникают через специальную мембрану, возникает напряжение, и полученная электроэнергия передается на электромотор. При реакции выделяется один только чистый водяной пар.

Тем не менее, здесь также возникают определенные проблемы. Во-первых, водород в природе не существует в чистом виде, и его необходимо добыть из других источников. Наиболее экономичным способом является извлечение его из газов, таких как пропан или метан, – однако при этом процессе выделяется углекислый газ. Существуют и другие методы производства водорода, но для их осуществления требуется создание отдельной инфраструктуры, что также сопряжено с определенными трудностями: водород является взрывоопасным веществом, и его хранение и заправка требуют особой осторожности.

Биодизель. Пытаются добыть топливо из продуктов жизнедеятельности растений и организмов и других органических отходов.

Например, биодизель – жидкое моторное топливо, изготовленное из эфиров жирных кислот, растительных и животных жиров и масел – в настоящее время производится во многих различных вариантах. Одним из наиболее перспективных источников биодизеля являются водоросли, а также разработки на основе рапса и других культур. В настоящее время биодизель используется во многих странах, но из-за короткого срока хранения и низкой термостойкости он пока не поступил в широкое производство.

Автопилот. В конце концов, мы без проблем доберемся туда «на автопилоте». Уже сейчас на некоторых автомобилях можно проложить маршрут и машина довезет владельца домой кратчайшим путем. Есть на счету и странные случаи: например, осенью 2018 года в небольшом американском городе Пало-Альто автомобиль на автопилоте избегал полицейских 11 километров, а владелец, пьяный, при этом спокойно спал на

водителем сиденье. Что характерно, автомобиль во время движения не нарушал ПДД.

В дальнейшем, возможно, не обязательно изучать правила дорожного движения и сдавать права – машина все сделает сама. Некоторые футурологи прогнозируют, что ручное вождение будет запрещено в городе до 2050 года.

Pivo. Роботизация – еще одно направление развития автомобильной промышленности. К примеру, Nissan создал концепт Nissan Pivo 2, модель роботизированного автомобиля. Робот будет сопровождать и следить за вами всю дорогу: если вы едете долго, он напомнит вам вздремнуть и поможет припарковаться в сложных местах. Свое название он получил потому, что его колеса вращаются на 90 градусов, как у кабины, поэтому оно происходит от английского слова «поворот».

Вероятно, машины будут иметь дополненную версию реальности. Дело не в том, что автомобиль осветит серый пейзаж вокруг вас или перенесет вас в вымышленный мир. Но осветит возможные источники опасности, более подходящий маршрут на дороге, напомнит о необходимости перестроиться и включить свет. Это история самого недалекого будущего – вплоть до тех пор, пока водителя не заменит автопилот.

Часто, смотря фильмы о будущем, мы видим автомобили, которые вообще не двигаются – вспомните футуристические образы известного фильма «Пятый элемент». Что об этом думают компании и их инженеры?

Летающая амфибия. В будущем автомобиль превратится в некоторую амфибию – существо, которое сможет жить в нескольких средах. Есть разработки подводных автомобилей, а также летающих машин. На работу без пробок. Порой, добираясь до работы или с работы домой, очень хочется взлететь над трассой – так много автомобилей в большом городе. О летающих автомобилях задумывались давно: ещё в 1937 году американский авиаинженер Уолдо Уотерман придумал гибридный самолёт, который мог передвигаться по земле как привычный всем автомобиль. А первый летающий автомобиль, который получил ещё и сертификат Управления гражданской авиации США, появился в 1946 году. Назывался он Airphibian, то есть «летающая амфибия». Его разработал Роберт Фултон. У машины снимались крылья и хвост, пропеллер прикладывался к бамперу, она могла развивать скорость до 190 км/ч и подниматься на максимальную высоту в 3660 метров. Однако обоим проектам не хватило ни финансирования, ни заинтересованности производителей.

Сейчас уже создано множество моделей летающих автомобилей. Большинство из них представляют собой гибрид самого автомобиля и коптера, поднимающегося в воздух вертикально с помощью несущего винта. Такие машины сейчас разрабатываются в Нидерландах, Израиле, России, Словакии, Китае, Германии, США и Японии. Правда, первым

этапом внедрения летающих машин станет не проезд людей по городу и вне него, а воздушная доставка грузов.

Подводный мир. Сегодня автомобилями, которые могут летать в небе, меньше автомобилей, которые могут двигаться под водой. Это логично: не везде есть водная среда, пригодная для передвижения. Кроме того, города часто строятся вокруг больших озер, а это значит, что вода мало вовлечена в городское движение. Конечно, можно упомянуть Петербург или Венецию, но список таких городов невелик.

Однако появляются некоторые модели подводных автомобилей. К примеру, Rinspeed sQuba может плавать и нырять на глубину до 10 метров. Следует признать, что его скорость не так уж поразительна. Если на суше он может двигаться со скоростью 120 км/ч, то на воде он движется со скоростью всего 6 км/ч, а под водой – даже 3 км/ч.

Большинство разработок в этой области сегодня – транспортные средства, которые могут передвигаться как по земле, так и по воде, а не под водой. Это, например, английская Gibbs Aquada. На воде этот автомобиль может развивать скорость до 90 км/ч. Но в любом случае, хотя такие транспортные средства, скорее всего, относятся к индустрии развлечений, вполне возможно, что дирижабли станут частью повседневной жизни наших внуков.

Оставьте воспоминания о своей жизни, любимых автомобилях и путешествиях молодости для потомков в безопасной цифровой капсуле времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ульянов А.С.* Перспективы в развитии автомобиля будущего // Молодой ученый. 2019. № 8.2 (246.2). С. 46-49.
2. Двигатели внутреннего сгорания. Конструкция и расчет поршневых и комбинированных двигателей / А.С. Орлин, Д.Н. Вырубов, В.И. Ивин [и др.]. М., Машиностроение, 1972.

ЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДИТЕЛЯ К НЕСТАНДАРТНЫМ СИТУАЦИЯМ

Р.Р. Конспаев, Е.Е. Гайдей И.М. Черкасов М.С. Балунов

Научный руководитель – **М.С. Балунов**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются и анализируются различные эмоции, чувства и душевные состояния водителя в нестандартных обстановках при управлении транспортным средством.

Ключевые слова: чувство, эмоции, конфликтные ситуации, дорожная обстановка

THE EMOTIONAL STATE OF THE DRIVER IN NON-STANDARD SITUATIONS

R.R. Konspaev, E.E. Gaydey, I.M. Cherkasov, M.S. Balunov

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

Various emotions, feelings and mental states of the driver in non-standard situations when driving a vehicle are considered and analyzed.

Keywords: feeling, emotions, conflict situations, road conditions

Для управления автомобилем очень большое значение имеет эмоциональное состояние водителя. Эмоцией называется переживание человеком своего отношения к тому, что он делает, познает, то есть к вещам и явлениям окружающего мира, к другим людям, их поступкам, к своей работе, к своим действиям, самому себе. Эмоции являются важнейшей составляющей психической деятельности и тесно связаны с мышлением. Положительные эмоциональные состояния чаще всего связаны с повышением уровня жизнедеятельности и характеризующиеся возникновением ощущений возбуждения, радостного волнения, подъема, бодрости. Их физиологические признаки таковы: дыхание становится более частым, глубоким и легким, активизируется работа сердца, в целом организм в

физиологическом плане подготавливается к большим затратам энергии. Негативные эмоциональные состояния, свидетельствующие об отказе от активного преодоления препятствий в ситуации повышенной эмоциональной нагрузки (подавленность, уныние, печаль, необоснованный страх). Такие состояния сопровождаются заметным снижением мышечного тонуса, замедлением дыхания, общей вялостью, угнетенностью и т.д. Радость у начинающего водителя характеризуется чувством уверенности и значительности, ощущением способности справиться с трудностями и наслаждаться жизнью. Радость сопровождается удовлетворенностью собой, окружающими людьми и миром. Она часто сопровождается чувствами силы и энергетического подъема. Следствием сочетания радости и ощущения собственной силы является связь радости с чувствами превосходства и свободы, ощущением того, что человек больше, чем он есть в обычном состоянии. Радость – это чувство, которое возникает при реализации своих возможностей. Препятствия к самореализации являются препятствиями для появления радости. Удивление часто встречается в эмоциональной палитре начинающих водителей и является преходящей эмоцией: оно быстро наступает и столь же быстро проходит. В отличие от других эмоций удивление не мотивирует поведение в течение долгого времени.

Страх является наиболее распространенной среди эмоциональных состояний начинающих водителей и является самой сильной и опасной из всех эмоций, которая оказывает большое влияние на сознание и поведение человека. Причинами страха могут быть события, условия или ситуации, сигнализирующие об опасности. Страх переживается как предчувствие беды, неуверенности, полной незащищенности. Со страхом связаны чувства недостаточной надежности, чувство опасности и надвигающегося несчастья, при которых человек ощущает угрозу своему существованию. Ощущение страха может варьировать от неприятного предчувствия до ужаса.

Формы проявления эмоций также весьма разнообразны и могут быть представлены в следующей классификации. Эмоции – более длительные и менее интенсивные состояния по сравнению с аффектами. Эмоции имеют ситуативный характер, т.е. выражают оценочное отношение человека к наличной или возможной ситуации, к своей деятельности и к своим действиям. Чувство – одна из основных форм переживания человеком своего отношения к предметам и явлениям действительности. Оно отличается относительной устойчивостью и постоянством. Чувства человека возникают как обобщение эмоций – становление и развитие чувств выражает формирование устойчивых эмоциональных отношений. В отличие от ситуативных эмоций и аффектов, отражающих ситуативное значение предметов в конкретно сложившихся условиях, чувства выде-

ляют явления, имеющие постоянную мотивационную значимость. Несоответствие ситуативных и устойчивых эмоциональных переживаний получило в психологии наименование амбивалентность чувств. Средства профилактики и предотвращения конфликтов, создание благоприятной обстановки при движении по дороге между участниками движения (водителями, пешеходами и пассажирами) преследует цель предотвращения конфликтов и снижения аварийности на дорогах. Предотвращению конфликта способствует все, что обеспечивает сохранение нормальных отношений, укрепляет взаимное уважение и доверие. Треть конфликтов на дороге связана с организацией дорожного движения. Правильно организованное дорожное движение, корректное поведение сотрудников ДПС на дороге способствует снижению конфликтов. Но самым главным условием возникновения конфликтов является поведение самих участников движения. Чтобы уменьшить возможность возникновения конфликтов нужно начинать с себя. Корректировка собственного поведения и отношения к дорожной ситуации связана с такими моментами, как:

- умение своевременно осознать, что общение стало предконфликтным, и понять необходимость возвращения к нормальному общению;
- терпимость к инакомыслию;
- умение понимать других участников дорожного движения;
- забота о снижении степени своей агрессивности и тревожности;
- управления своим психологическим состоянием, нежелание решать проблему, находясь в состоянии возбуждения или переутомления;
- готовность к решению проблем путем сотрудничества, компромиссов, уступок, избегать столкновений;
- сохранение чувства юмора.

Способы и приемы воздействия на поведение других участников движения. Способы и приемы воздействия заключаются в том, чтобы:

- не требовать от других водителей невозможного, следует учитывать, что способности к управлению автомобилем у каждого разные;
- не стремиться перевоспитывать человека через прямое влияние;
- оценивать психическое состояние другого участника движения в процессе общения и избегать обсуждения острых проблем, если существует повышенная вероятность его агрессивной реакции;
- знать и использовать законы невербальной передачи информации с помощью мимики, жестов, позы, движений для более точной оценки психического состояния участника движения;
- не перебивать оппонента при обсуждении проблемы;
- не критиковать личностные черты других участников дорожного движения;
- не загонять в тупик, не унижать и не оскорблять оппонента, дать ему возможность «сохранить свое лицо»;

- стремиться склонить к себе, а для этого чаще улыбаться.

Общение на дороге носит официальный, сугубо деловой характер, однако возникновение конфликтов менее вероятно, если собеседники установили психологический контакт.

Чем покладистее к вам собеседник, тем вероятнее вы воспринимаете его не как постороннюю личность, а как человека, который что-то значит лично для вас, и тем меньше будет вероятность конфликтов. Для установления неформального контакта желательно начать обсуждение возникшей проблемы с тем, например, личного характера - о здоровье, успехах, семье собеседника. Эти вопросы должны быть не формальными, а искренними. Желательно, чтобы глаза собеседников во время беседы были примерно на одном уровне. Рекомендации поведения в конфликтной ситуации. У многих людей нет специальных навыков управления конфликтами, им нужны рекомендации и соответствующая практика. В применении основных рекомендаций по поведению в конфликтных условиях можно указать на такие ориентиры, как: умение отличать главное от второстепенного. Казалось бы, все очень просто, но жизнь показывает, что сделать это весьма нелегко. Практически ничего, кроме интуиции, не может человеку помочь на дороге. Но если регулярно анализировать конфликтные ситуации, мотивы своего поведения, если пытаться понять, что действительно является «вопросом жизни и смерти», а что просто собственные амбиции, и научиться отбрасывать несущественное, то можно действовать по совету Д. Карнеги: «Не позволяйте себе расстраиваться из-за мелочей, которыми следует пренебречь и забыть. Помните, что жизнь слишком коротка, чтобы тратить ее на пустяки! «Умение отличить главное от второстепенного должно помочь каждому найти правильную линию поведения в конфликтах. Внутренний покой. Это принцип отношения к жизни, необходимый при общении на дороге. Он позволяет реагировать на малейшие оттенки событий и проблем, не теряя самообладания даже в критические моменты. Внутреннее спокойствие – это своего рода защита от всех неприятных жизненных ситуаций, он позволяет человеку выбрать надлежащий стиль поведения. Эмоциональная зрелость и устойчивость – это, по сути, способность и готовность к достойным поступкам в любых жизненных ситуациях. Умение подходить к проблеме с разных точек зрения, обусловленное тем, что одно и то же событие можно оценить по-разному, в зависимости от позиции, которую занимает. Если рассматривать конфликт с позиции своего «Я», будет одна оценка, а если попытаться посмотреть на эту же ситуацию с позиции своего оппонента - возможно, все будет казаться другим. Важно уметь оценивать, сопоставлять, соединять разные позиции. Готовность к любым неожиданностям, отсутствие (или сдерживание) предубежденного поведения позволят быстрее перестроиться, своевременно и адекватно

отреагировать на изменение ситуации. Умение воспринимать действительность такой, какая она есть, а не такой, какой человеку хотелось бы ее видеть. Этот принцип тесно связан с предыдущим, учет его способствует сохранению психической устойчивости даже в тех случаях, когда все кажется лишенным внутренней логики и смысла. Стремление к выходу за рамки проблемной ситуации. Как правило, из всех безвыходных ситуаций, в конце концов, можно найти выход, а совершенно безвыходных ситуаций не бывает. Наблюдательность, необходима не только для оценки людей вокруг и их поступков. Много ненужных реакций, эмоций и действий отпадет, если научиться беспристрастно, наблюдать за собой. Человеку, который умеет объективно оценить свои желания, мотивы, будто со стороны, намного легче управлять своим поведением, особенно в критических ситуациях. Дальновидность, как способность не только понимать внутреннюю логику событий, но и видеть перспективу их развития. Знание того, что к чему приведет, предохраняет от ошибок и неправильной линии поведения, предотвращает возникновение конфликтной ситуации. Стремление понять других, их помыслы и поступки. В одних случаях это означает примириться с ними, в других – правильно определить свою линию поведения. Много недоразумений на дороге возникают только потому, что не все люди умеют или не хотят понимать других. Способность понять противоположную точку зрения помогает предвидеть поведение людей в той или иной ситуации. Умение извлекать опыт из всего происходящего, т.е. учиться на ошибках, причем не только на своих. Такое умение учитывать причины прошлых ошибок и неудач помогает избегать новых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российский психиатрический журнал. URL: <https://cyberleninka.ru/journal/n/rossiyskiy-psihiatricheskij-zhurnal?i=1050676>
2. Статья на тему «Эмоциональные состояния водителей и их виды». URL: https://infourok.ru/statya_na_temu_emocionalnye_sostoyaniya_voditeley_i_ih_vidy-141275.htm
3. Психологические особенности человека при управлении автомобильным транспортом: учебное пособие / В.Я. Буйленко, С.В. Жанказиев, В.В. Дементенко, Ю.А. Короткова, М.В. Гаврилук. М.: МАДИ, 2017. 172 с. URL: <https://lib.madi.ru/fel/fel1/fel17E447.pdf>

УДК 623.4

**ВИДЫ ТАКТИКИ ВЕДЕНИЯ БОЯ.
ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ВС РФ**

Д.А. Пономарев, А.С. Кутумов, М.С. Балунов

Научный руководитель – **М.С. Балунов**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются новейшие виды тактики ведения боя, а также современное инженерное оборудование в ВС РФ.

***Ключевые слова:** новейшие виды тактики, современное инженерное оборудование*

**TYPES OF COMBAT TACTICS. APPLICATION
OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT AND ENGINEERING
EQUIPMENT IN THE ARMED FORCES
OF THE RUSSIAN FEDERATION**

D.A. Ponomarev, A.S. Kutumov, M.S. Balunov

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The latest types of combat tactics are considered, as well as modern engineering equipment in the Armed Forces of the Russian Federation.

***Keywords:** the latest types of tactics, modern engineering equipment*

Тактика – самая динамичная составная часть военного искусства, исследующая закономерности, характер, содержание, способы подготовки и ведения боя и других тактических действий. Она подчинена оперативному искусству и стратегии и руководствуется их требованиями.

История вопроса. Во все времена человечество сталкивалось с войнами, конфликтами, вооруженными столкновениями, в которых всегда есть победитель и проигравший. И лишь правильный выбор тактики и

рационального использования инженерного оборудования помогал определить исход событий. Прогресс не стоит на месте, меняется не только быт людей, но и тактика ведения боя в современных конфликтах и операциях, а также оборудование, которое используется войсками

Последние достижения. Анализ опыта военных конфликтов последних десятилетий показал, что успех в общевойсковом бою во многом зависит от средств, применяемых вышестоящей инстанцией. Так, в ходе операции в Сирийской Арабской Республике (САР) в интересах воинских формирований тактического звена широко применяются средства стратегического и оперативного уровня. В то же время объединенные единым замыслом боевые действия тактических формирований позволяют обеспечить успешное выполнение оперативных и даже стратегических задач.

Таким образом, прогрессируя под воздействием военной стратегии и оперативного искусства, тактика существенно влияет на развитие военного искусства в целом. Ведь оперативный успех в конечном итоге достигается совокупностью частных позитивных тактических результатов.

Определяющее влияние на развитие тактики, несомненно, оказывает совершенствование вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), а также повышение качества боевой подготовки личного состава. Исследования, проведенные в Главном управлении боевой подготовки ВС РФ, позволили выявить основные направления развития тактики, через которые проявляется ее влияние на оперативное искусство и стратегию.

Задел на будущее. С появлением новых средств вооруженной борьбы увеличились мощь и глубина огневого поражения за счет комплексов сил и средств в разведывательно-ударные (огневые) комплексы (РУК, РОК), повысилась значимость маневренности войск для достижения целей боя, возросла роль разведки, радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и средств поражения, действующих в приземном слое воздушного пространства.

Например, оперативно-тактический ракетный комплекс (ОТРК) «Искандер-М» поражает цели на удалении до 480 км площадью до двух футбольных полей и способен преодолевать любую противоракетную оборону противника, а реактивная система залпового огня (РСЗО) «Торнадо-С», пришедшая на смену РСЗО «Смерч» из состава армейского и фронтового комплектов, имеет дальность стрельбы до 120 км и накрывает цель размером 3×3 км.

Стремительное развитие беспилотной авиации позволяет сделать вывод, что ее применение в ходе боевых действий будет только расширяться. В будущем БПЛА могут действовать в качестве так называемых ловушек для системы ПВО и выполнять задачи РЭБ. Возможно их применение «роями» (с использованием искусственного интеллекта), кото-

рые будут обнаруживать объекты противника, обеспечивать наведение на них ударов ракетных войск, пилотируемой авиации и сами поражать цели, в том числе в качестве управляемых (барражирующих) боеприпасов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Люттвак Э.Н.* Стратегия. Логика и войны. М.: Изд-во АСТ, 2023. 448 с.
2. *Багданович А.Н.* История мировых войн. М.: Изд-во АСТ, 2022.
3. *Лепешинский И.Ю.* Военно-инженерная подготовка / И.Ю. Лепешинский, В.А. Кутепов, В.В. Глебов. М.: Изд-во ИНФРА-М, 2023.

УДК 621.343

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ БАЗОВЫХ ШАССИ

П.А. Родичкин, М.С. Балунув

Научный руководитель – **М.С. Балунув**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются способы применения современных автомобильных технологий для повышения эффективности применения автомобильных базовых шасси.

Ключевые слова: унификация, эффективность, надежность, экономия

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF AUTOMOTIVE BASE CHASSIS

P.A. Rodichkin, M.S. Balunov

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The ways of applying modern automotive technologies to improve the efficiency of the use of automotive base chassis are considered.

Keywords: unification, efficiency, reliability, economy

С появлением самоходных повозок с двигателями внутреннего сгорания во многих странах к ним проявили естественный интерес военные ведомства.

Автомобили прошли долгий путь в своем развитии, сегодня они по праву стали важной частью сухопутных войск армий всех стран мира.

Особенности современных боевых действий, развитие форм вооруженной борьбы, а также опыт вооруженных конфликтов прошлого периода показывают, что мобильность и маневренность стали важнейшими факторами боевой мощи войск. Поэтому военная техника, является важной частью вооруженных сил.

Она становится основным средством обеспечения мобильности войск, как тактической, так и оперативной, мобильной наземной военной

техники. Неслучайно АБШ является базой для большей части мобильно-го вооружения и военной техники.

Базовое шасси - это элемент автомобильной конструкции, который служит основой или специально подготовленной платформой для установки двигателя, элементов кузова и другого оборудования автомобиля.

Шасси является важным компонентом автомобильной промышленности, который используется для создания различных моделей и типов транспортных средств, от небольших грузовиков до больших автобусов и большегрузных автомобилей.

Основные направления развития базовых шасси:

- увеличения комплектующих отечественного производства;
- повышение производительности шасси;
- снижение однотипных материалов повышенной надежности;
- переход на дизельные двигатели с высокой мощностью;
- внедрение гидромеханических, электрических трансмиссий;
- применение автоматизированных управляющих систем;
- применение встроенных диагностических систем;

Достижение требуемого технического уровня, влечет за собой выполнение ряда задач, стоящих перед автомобильной промышленностью государства:

- внедрение электроники и новых систем управления движением, снижающих утомляемость водителя;
- повышение проходимости автомобилей за счет автоматического регулирования силы тяги и скорости движения;
- повышение защищенности и скрытности, ремонтпригодности;
- улучшение качества изготовления различных агрегатов входящих в состав АБШ.

Касательно унификации стоит сказать, что в настоящее время отечественные производства развиты достаточно хорошо. Предприятия машиностроения совместно с различными научно-исследовательскими центрами страны совместно разрабатывают новые, более технологичные шасси. Сотрудничество с всемирно известными автомобильными гигантами позволяет наладить производство иномарок на территории России, а также позволяет осуществить обмен опытом в сфере машиностроения.

Автомобили отечественного производства принимают участие в различных авто спортивных мероприятиях и занимают призовые места, что может свидетельствовать об их высоком уровне технологической подготовки и оснащенности.

Развитие АБШ будет продолжаться в направлении повышения эффективности, безопасности и удобства использования. Некоторые из перспектив развития автомобильных базовых шасси включают:

1. Использование более легких материалов для уменьшения веса шасси и повышения экономичности топлива.

2. Внедрение новых технологий, таких как автопилоты и системы интеллектуального управления, для повышения безопасности и управляемости транспортного средства.

3. Улучшение аэродинамических характеристик для снижения сопротивления воздуха и улучшения топливной экономичности.

4. Использование гибридных и электрических двигателей для снижения выбросов вредных веществ и уменьшения зависимости от нефтепродуктов.

5. Разработка модульных конструкций, позволяющих легко изменять конфигурацию и функциональность шасси в соответствии с потребностями заказчика.

Эти и другие инновации помогут улучшить производительность и предложить потребителям более удобные и безопасные автомобили.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Родичев В.А.* Грузовые автомобили: Учебник для нач. проф. образования. 4-е изд., перераб и доп. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 240 с.

2. *Варшавский И.Л.* Как обезвредить отработавшие газы автомобиля / И. Л. Варшавский, Р.В. Малов. Москва: Транспорт, 1968. 127 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ ВОЙСК В ВОЙНАХ И ВООРУЖЕННЫХ КОНФЛИКТАХ

П.В. Ройхка, В.В. Капралов

Научный руководитель – **В.В. Капралов**, канд. пед. наук

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматривается история зенитных ракетных войск, причины появления зенитных ракетных войск, их развитие, участие в обороне государства, применение в войнах и вооружённых конфликтах, тактика применения зенитных ракетных войск.

***Ключевые слова:** история, война, комплекс, зенитный ракетный комплекс, тактика*

USE OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE FORCES IN WARS AND ARMED CONFLICTS

P.V. Royhka, V.V. Kapralov

Scientific Supervisor – **V.V. Kapralov**, Candidate of Pedagogical Sciences

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The history of anti-aircraft missile forces, the reasons for the appearance of anti-aircraft missile forces, their development, participation in the defense of the state, use in wars and armed conflicts, tactics of using anti-aircraft missile forces are considered.

***Keywords:** history, war, complex, anti-aircraft missile system, tactics*

Послевоенный период 1950-х парадоксальным образом оказался для страны не менее опасным, чем Вторая мировая война. Появление атомного оружия у США и переход авиации на реактивные двигатели ставил под вопрос обороноспособность государства. Зенитная артиллерия того времени оказалась неспособна поразить самолеты противника которые поднимались на большие высоты. А то, что у Америки существовали планы по бомбардировкам СССР, теперь не секрет.

Сталин поставил задачу создать совершенно новую систему ПВО, способную даже при массированном налете не пропустить ни одного самолета к обороняемому объекту. Новые системы ПВО должны строиться на сочетании радиолокации и управляемых ракет. Итак, в 1950 году было принято решение о создании ЗРК "Беркут".

22 мая 1959 года на вооружение зенитных-ракетных полков ВС СССР встал самый, пожалуй, боевой ЗРК в мире – С-75. К этому времени в СССР уже был принят на вооружение ЗРК С-25, но военным требовался не стационарный, а передвижной комплекс, способный развернуться в любой части страны. Достаточно легкий и мобильный комплекс должен был уместиться на уже имеющихся тягачах, быть простым в производстве и эксплуатации, без существенных снижений тактико-технических характеристик. Данный ЗРК прошел с боями почти все войны и вооруженные конфликты: Вьетнам, Египет, Сирия, Ирак, Югославия.

Появление ЗРК С-75 во Вьетнаме стало полной неожиданностью для США. До этого ВВС США осуществляли бомбардировку в плотных боевых порядках по 15-18 самолетов. После первого же применения ЗРК-75 ВВС США понесли значительные потери. За время войны во Вьетнаме советские ЗРК поразили тысячи самолетов противника.

Активное участие ЗРВ приняли в войнах на ближнем востоке. В боевых действиях участвовали соединения ЗРВ с советскими расчетами. Соединения были смешанного состава на вооружении которых были комплексы С-75 различных модификация и С-125.

Комплекс С-125 показал свою высокую эффективность во время боевых действий в Югославии за счет применения оптического канала наведения.

Таким образом ЗРВ за время своего существования зарекомендовали себя как эффективный род войск. Были поражены тысячи целей. На сегодняшний день ЗРВ выполняют боевые задачи в зоне проведения СВО, где показывают чудеса храбрости и героизма при минимальных потерях в личном составе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малоизвестные факты хорошо известных событий. URL: <https://topwar.ru/2068-maloizvestnye-fakty-horosho-izvestnyx-sobytij.html>
2. Система ПВО Вьетнама (часть 1). URL: <https://topwar.ru/143772-sistema-pvo-vietnama-chast-1.html>
3. Опыт и уроки боевого применения войск и вооружения ПВО в локальных войнах и вооруженных конфликтах / И. Ашурбейли, Б. Чельцов, А. Хюпенен. М.: ООО «Рекламный проспект», 2012. 203 с.

**ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
И РЕМОНТА ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
СТРАН НАТО И РОССИИ
В УСЛОВИЯХ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ**

А.Д. Якунин, А.А. Быков, А.М. Канаев

Научный руководитель – **А.М. Канаев**, преподаватель

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны

В статье проводится анализ существующей системы проведения ТО и ремонта военной техники стран блока НАТО и РФ в условия боевых действий. Сравнивается технология проведения ремонта повреждённой (неисправной) техники, вооружёнными силами стран НАТО и ВС РФ. Актуальность обоснована необходимостью и целесообразностью развития ремонта военной техники в условиях боевых действий, быстрое обслуживание техники без применения сил и средств заводов-изготовителей.

Ключевые слова: военная техника, боевые действия, ремонтные мастерские, восстановление, ремонт, техническое обслуживание, целесообразность

**ORGANIZATION OF MAINTENANCE AND REPAIR
OF MILITARY VEHICLES OF NATO COUNTRIES
AND RUSSIA IN COMBAT CONDITIONS**

A.D. Jakunin, A.A. Bykov, A.M. Kanaev

Scientific Supervisor – **A.M. Kanaev**, Teacher

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The article analyzes the existing system for carrying out maintenance and repair of military equipment of NATO countries and the Russian Federation in combat conditions. The technology for repairing damaged (faulty) equipment by the armed forces of NATO countries and the RF Armed Forces is compared. The relevance is justified by the need and expediency of developing the repair of military equipment in combat conditions, rapid maintenance of equipment without the use of forces and means of manufacturing plants.

Keywords: military equipment, combat operations, repair shops, restoration, repair, maintenance, expediency

В современных военных конфликтах вооруженные силы всё чаще стали применять новейшие дорогостоящие средства повышенной мобильности, точности и ударной силы. Цель военных операций состоит не столько в уничтожении живой силы, сколько в выведении из строя военного потенциала противника. Поражённая на поле боя техника, будь то танки «Leopard 2», «M1 Abrams» или РСЗО M142 HIMARS со стороны НАТО, и ЗРПК «Панцирь С1», ЗРК С-400 со стороны ВС РФ имеет очень большую стоимость.

Перед оборонно-промышленным комплексом стран стоит вопрос целесообразности и рентабельности ремонта этой техники.

На вооружении нашей армии имеются такие передвижные мастерские, как: бронированные ремонтно-эвакуационные машины «БРЭМ-80У», «БРЭМ-1М», БРЭМ-3 «Беглянка», мастерские технического обслуживания МТО-АМ1, УБ-1, УБ-2 на базе автомобилей Урал или КАМАЗ. Уральская группа предприятий «ГИРД» начала внедрение передвижной авторемонтной мастерской ПАРМ МТП смонтированной на шасси Урал 4320, имеющей широкий спектр возможностей и современные средства для ремонта. Мелкий и средний ремонт, а также проведение ТО военной автомобильной техники в полевых условиях, в условиях боевых действий стали больше возможными благодаря этим средствам.

А как же обстоят дела у нашего противника? На сколько США и НАТО заинтересованы ремонтом в условиях ведения боевых действий?

Как мы убедились, в ходе последних военных конфликтов, военная техника НАТО обладает существенной громоздкостью, посредственной подвижностью и излишней сложностью конструкции, которую не всегда можно рационально объяснить. Специалисты в оборонной сфере исследовали трофейную технику НАТО, которую западные страны посылали Украине, и заключили, что иностранные образцы имеют достаточно много слабых мест из-за не отвечающего требованиям современного боя распределения защиты. Также отмечено, что у западных образцов бронетехники «крайне низкая» ремонтпригодность и ресурсозатратное техническое обслуживание.

На первый взгляд конструкция их техники, в отдельных случаях, не совсем рациональна. В большинстве случаев противник бросает свою технику на поле боя и не принимает мер по её ремонту. Связано ли это с отсутствием специалистов на линии боевого соприкосновения, либо отсутствия специальной техники? Либо это следствие определённой экономической концепцией стран НАТО? Ведь капиталисты ничего не делают зря и не пускают деньги на ветер.

Следует отметить, что несмотря на то, что передвижные ремонтные мастерские в армиях блока НАТО практически не используются, то эвакуационная техника у них всё же имеется. Так, к примеру: тяжелая

бронированно-эвакуационная машина БРЭМ HERCULES (США), БРЭМ «Buffalo» (Германия), БРЭМ CARRV (Великобритания). Данная техника помимо грузоподъемного оборудования и буксировочных приспособлений имеет вооружение и предназначена больше для эвакуации техники с поля боя и спасения экипажей.

Несмотря на то, что поврежденная техника стран НАТО в полях почти не ремонтируется, всё же некоторые образцы подвергаются изъятию и отправке на предприятия для исследования и совершенствования. К примеру, в последние годы военные компании НАТО реализуют программы по обновлению гаубиц М-777, стоящих на вооружении американской армии. В соответствии с ней будут доработаны противооткатные механизмы и гидравлические системы.

В Великобритании эксперты оборонной отрасли, развивают так называемую концепцию боя «стратегический налет» для внедрения непродолжительных, быстрых, энергичных операций, на которых британское правительство может сосредоточиться в будущем вместо долгих, затянувшихся операций, ведущихся в последнее время на Ближнем Востоке. Данная модель, позволит внедрять в основном функционально гибкие, весьма мобильные транспортные средства, которые проще обслужить в полевых условиях в противоположность тяжелым гусеничным машинам со сложными логистическими требованиями. Как пример – боевые машины «Ажах» с высоким уровнем унифицированности, снижающим объемы обслуживания и материально-технического снабжения в условиях эксплуатации.

Кроме того, военные компании НАТО предполагают использовать инновационные способы достижения боевой готовности. Такие как - использование гарнитур виртуальной реальности и очков типа «Google Glass», предоставляющих техническим специалистам подобие рентгеновского снимка, необходимого для обслуживания и ремонта.

Интересным проектом у запада является концепция «упреждающего обслуживания», основанная на высоких уровнях оцифровывания военных машин новейшего поколения. Так комплекс мониторинга состояния и использования систем HUMS (Health and Usage Monitoring System) собирает данные со встроенных в машине датчиков для того, чтобы можно было проводить профилактическое обслуживание, определять и устранять возможные неисправности до того, как они произойдут.

Таким образом, можно сделать вывод, что в отличие от наших вооружённых сил, армии США и НАТО придерживаются иной тактики касемо ремонта в боевых условиях. Они не рискуют жизнями военных под обстрелами, не тратят средств на их обучение и развитие подвижных мастерских. Противник также в отличие от нас не делает упор на проведение плановых ТО в боевых условиях, что весьма трудозатратно и неце-

лесообразно. Поскольку перспективные средства мониторинга позволяют с высокой долей вероятности спрогнозировать отказы. В современном бою противник предпочтёт действовать дистанционно, с помощью высокоточного оружия большой дальности, дронов-камикадзе и т.д. Техника из ближнего – контактного боя скорее всего заменится легкоманёвренной, быстрой, не имеющей сложных конструкций и высокой стоимости, дабы избежать затраты на эвакуацию и ремонт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Военное обозрение. Раздел «вооружение» статья: Легче предупредить, чем вылечить: концепции обслуживания и ремонта военной техники. URL: <https://topwar.ru/123470-legche-predupredit-chem-vylechit-koncepcii-obslužhivaniya-i-remonta-voennoj-tehniki.html?ysclid=ltyqwka3e591898231> (дата обращения: 18.03.2024).
2. Портал студенческих научных материалов. URL: https://ozlib.com/993118/sotsium/podvizhnye_sredstva_tehnicheskogo_obslužhivaniya_remonta_rossijskoy_armii#4117 (дата обращения: 18.03.2024).
3. Бронетанковое вооружение и техника. М.: Оружие и технологии, 2003.
4. Военные материалы [сайт]. URL: <http://warfiles.ru/show-939-rhein-metall-poluchaet-zakaz-stoimostyu-40-mln-evro-iz-kanady-na-brem-buf-falo.html> (дата обращения: 28.01.2024).
5. РБК новости [сайт]. Военная операция на Украине, 29 июля 2023, 06:33 «РИА Новости» узнало о недостатках военной техники НАТО URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/64c4865e9a7947463f7c8b94> (дата обращения: 29.01.2024).

**ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
ГАЗОПРОВОДА «ЗОЛЬНОЕ–ЖИГУЛЕВСК»
В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ**

Д.А. Кирпичникова, А.И. Ахременко

Научный руководитель – **А.И. Ахременко**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

В данной статье рассматривается воздействие на окружающую среду газопровода «Зольное-Жигулевск» в Самарской области, а также мероприятия по предотвращению и снижению его негативных воздействий.

***Ключевые слова:** газопровод, земельные ресурсы, растительный мир, животный мир, атмосферный воздух, физические факторы, строительные работы, негативные воздействия*

**ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE
ZOLNOYE-ZHIGULEVSK GAS PIPELINE
IN THE SAMARA REGION**

D.A. Kirpichnikova, A.I. Akhremenko

Scientific Supervisor – **A.I. Akhremenko**, Candidate of Technical
Sciences, Assistant Professor

Yaroslavl State Technical University

This article examines the environmental impact of the Zolnoye-Zhigulevsk gas pipeline in the Samara region, as well as measures to prevent and reduce its negative impacts.

***Keywords:** gas pipeline, land resources, flora, fauna, atmospheric air, physical factors, construction work, negative impacts*

Межпоселковый газопровод «Зольное-Жигулевск», общей протяженностью 26 км, является одной из старейших газовых магистралей региона. Объект был введен в эксплуатацию в 1955 году для газоснабжения Жигулевска и сел Зольное, Бахилово, Бахилова Поляна. Позднее был продлен до села Ширяево, а также обеспечивал газом села Солнечная

поляна и Богатырь. Газопровод находится в Ставропольском муниципальном районе Самарской области и городском округе Жигулевск. Проходит по границам особо охраняемых природных территорий федерального значения – государственного природного национального парка «Самарская лука» и Жигулевского государственного природного биосферного заповедника имени И.И. Спрыгина.

Как мы выяснили, наибольшее воздействие газопровод оказывает на такие компоненты окружающей среды как:

- атмосферный воздух;
- физические факторы;
- растительный и животный мир;
- земельные ресурсы, почва и геологическая среда.

При проведении строительных работ и эксплуатации газопровода оказывается негативное воздействие в первую очередь на атмосферный воздух. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу поступают от различных видов производимых работ.

При работе дизельных двигателей автотранспорта и строительной техники в атмосферу выбрасываются следующие загрязняющие вещества: азота диоксид, азота оксид, сажа, серы диоксид, углерода оксид, керосин. При производстве сварочных работ с применением штучных электродов в атмосферный воздух поступают следующие загрязнители: железа оксид, марганец и его соединения. При сварке пластиковых труб в атмосферу выбрасываются: ацетилен, формальдегид, углерода оксид и уксусная кислота. При пересыпке и перевалке грунта и песка в атмосферу выбрасывается пыль неорганическая более 70% и взвешенные вещества. От производства покрасочных работ: ксилол, толуол, ацетон и взвешенные вещества. При работе дизельгенератора в атмосферу выделяются: азота диоксид, азота оксид, сажа, серы диоксид, углерода оксид, бензапирен, формальдегид, керосин. При продувке газопровода газом перед пуском в атмосферу выделяется метан.

Так как выбросы этих загрязняющих веществ не превышают предельно-допустимую концентрацию и находятся в пределах нормы, представленные мероприятия по снижению и предотвращению негативных воздействий носят рекомендательный характер.

В данные мероприятия входит: соблюдение технологии строительных работ; соблюдение границ территории, отведенной под строительство; обеспыливание грунта орошением при проведении перевалочно-погрузочных работ; укрытие кузовов самосвалов тентовым покрытием при транспортировке грунта и инертных строительных материалов.

Наибольшая концентрация выбросов на границе жилой зоны исходит от диоксида азота и серы и составляет 0,92 в долях ПДК (рис. 1).

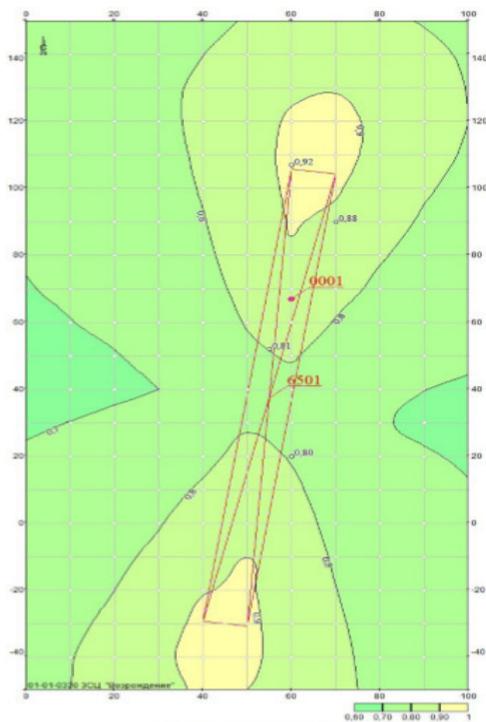


Рис. 1. Концентрации азота диоксида, серы диоксида

Вредное воздействие шума, вибрации, ионизирующего излучение и другие физические факторы изменяют свойства окружающей среды и негативно влияют на нее. Акустическую нагрузку от объекта при производстве строительного-монтажных работ формируют строительная техника, автотранспорт и фоновый шум. Расчетный уровень шума составляет 28,2 дБА, что не превышает допустимого уровня, который равен 45 дБА. Наибольший эквивалентный уровень звука, проникающего в помещения через наружную стену с окном, составит 33 дБА. При этом допустимые уровни звука, в соответствии с таблицей 3 СН 2.2.4/2.1.7.562-96 составляют: для дневного времени суток 35 дБА, для ночного 25 дБА. Отсюда следует, что ожидаемый уровень шума в помещениях не превысит допустимый для дневного времени суток. В ночное время строительные работы не проводятся. При безаварийной эксплуатации газопровода шумовое воздействие на компоненты окружающей среды отсутствует.

При расположении строительной площадки на лесных землях ООПТ, при необходимости снижений шумового воздействия применяют-

ся такие мероприятия, как звукоизоляция двигателей с помощью защитных кожухов и капотов с многослойными покрытиями, применение резины, поролона, использование противозумных экранов, завесы, палаток, герметизация отверстий в противозумных покрытиях и кожухах.

Основные воздействия на растительный и животный мир будут оказаны в пределах полосы отвода на лесных землях, расположенных на территории ООПТ. Древесно-кустарниковая растительность в пределах полосы отвода будет практически полностью уничтожена в процессе расчистки полосы.

Также будет нарушена среда обитания охотничьих видов животных, обитающих в упомянутых ООПТ. В котлован и траншеи могут попадать животные, что может привести к их повреждению и гибели.

При производстве строительного-монтажных работ происходит загрязнение и истощение земельных ресурсов. В проекте принят мелиоративный срок восстановления плодородия почвы: для выгона – три года. В течение этого периода предусматриваются агротехнические мероприятия по восстановлению структуры и биологической активности почвы.

Например, в течение периода рекультивации внесение органических и минеральных удобрений, посев многолетних трав.

При реализации представленных выше мероприятий, уровень негативных воздействий на окружающую среду и ее компоненты, будет находиться в пределах нормы и являться допустимым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектная документация. Раздел 7. Мероприятия по охране окружающей среды. ПСГ 224.17-01-ООС. Том 7. Реконструкция объекта: «Г/п Зольное – Жигулевск/магистр/» III этап реконструкции 2018 г. ООО «СтройТрейд Групп».
2. Закон Самарской области от 06.04.2009 № 46-ГД «Об охране окружающей среды и природопользования в Самарской области».
3. Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 г., № 96-ФЗ/
4. Федеральный закон «О животном мире» от 24.04.1995 г. № 52-ФЗ.
5. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПОСЕЛКА БОРИСОГЛЕСБКИЙ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Е. Княжева, А.И. Ахременко

Научный руководитель – **А.И. Ахременко**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается процесс воздействия очистных сооружений на окружающую среду. По результатам исследования предлагаются мероприятия по охране окружающей среды.

Ключевые слова: *очистные сооружения, атмосферный воздух, концентрация загрязняющих веществ, шумовое воздействие, водные объекты, охрана окружающей среды*

ENVIRONMENTAL PROTECTION MEASURES IN THE ZONE OF THE TREATMENT FACILITIES OF THE VILLAGE OF BORISOGLESBKY, YAROSLAV REGION

A.E. Knyazheva, A.I. Akhremenko

Scientific Supervisor – **A.I. Akhremenko**, Candidate of Technical
sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The process of impact of treatment facilities on the environment is considered. Based on the results of the study, environmental protection measures were provided.

Keywords: *treatment facilities, atmospheric air, concentration of pollutants, noise impact, water bodies, environmental protection*

Рассматриваемые очистные сооружения предназначены для очистки сточных вод пос. Борисоглесбкий до установленных нормативов.

Технологический процесс очистки заключается в следующем: исходные сточные воды первоначально поступают в накопительный резервуар, где очищаются от взвешенных веществ и усредняются по составу. Далее водный поток, прошедший механическую очистку, направляется на многостадийную биологическую очистку на 4-х блоках установки «ББО-

50», работающих параллельно. После этого, воды обеззараживаются на установке ультрафиолетового обеззараживания воды «АБИ-10». Очищенные и обеззараженные стоки выпускаются на рельеф.

В результате очистки хозяйственно-бытовых стоков достигаются требуемые нормативы качества воды.

В ходе проектирования очистных сооружений определены виды и характеристики воздействия на окружающую среду. Оценка воздействия объекта представлена в табл. 1.

Таблица 1. Результаты оценки воздействия на окружающую среду

Виды воздействия	Характеристика воздействия
Привнос в атмосферный воздух вредных (загрязняющих) веществ в период эксплуатации	Имеет место в пределах установленных нормативов
Привнос в атмосферный воздух вредных (загрязняющих) веществ в период строительства	Имеет место в пределах установленных нормативов
Привнос шума в период эксплуатации	В пределах установленных нормативов
Привнос шума в период строительства	В пределах установленных нормативов
Привнос тепла	Незначительное воздействие
Привнос электромагнитных излучений	Незначительное воздействие
Привнос визуальных доминант	Имеет место
Изыятие из окружающей среды земельных ресурсов	В размере, необходимом для размещения очистных сооружений очистки хозяйственно-бытовых стоков

В целях охраны окружающей среды в зоне очистных сооружений предложены мероприятия, направленные на уменьшение вредного воздействия очистных сооружений на окружающую среду.

Мероприятия по охране атмосферного воздуха включают в себя широкий спектр действий, направленных на снижение загрязнения воздуха и улучшение его качества. Главная цель таких мероприятий состоит в защите здоровья людей, сохранении экологического баланса и предотвращении негативных последствий загрязнения воздуха для окружающей среды.

В целях охраны атмосферного воздуха от загрязнения вредными веществами предусмотрены следующие мероприятия:

- применение водоочистного оборудования, при эксплуатации которого выбросы загрязняющих веществ находятся в пределах установленных нормативов;
- четкое соблюдение регламента технологического процесса;

– прочие мероприятия, направленные на уменьшение загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами.

Для охраны водных объектов предусмотрены следующие мероприятия:

- четкое соблюдение регламентов технологического процесса;
- недопущение сброса стоков, несоответствующих по качеству действующим нормативам;
- прочие мероприятия направленные на снижение уровня загрязнения водных объектов.

С целью уменьшения шумового воздействия от источников шума объекта приняты следующие мероприятия:

- применение вентиляционного и насосного оборудования с меньшими шумовыми характеристиками;
- применение погружных малошумных насосов;
- прочие мероприятия направленные на снижение шумового воздействия.

Результаты акустических исследований показали, что наибольшие значения уровней прогнозируются на границе промышленной площадки и составляет 67,47дБА по максимальному уровню звука; наибольшее значение максимального уровня звука на границе ориентировочной СЗЗ в дневное время составляет 62,74 дБА; наибольшее значение максимального уровня звука на границе жилой застройки составляет 42,67 дБА.

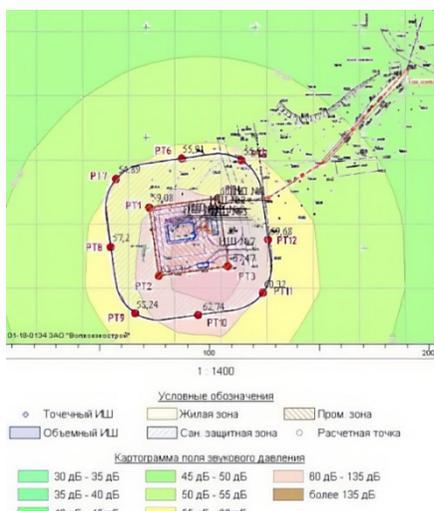


Рис.1. Ситуационная карта-схема с изолиниями максимальных уровней звука в дневное время на период эксплуатации

Таким образом, прогнозируемые уровни звукового воздействия не превышают предельно допустимые уровни на границе промплощадки, ориентировочной санитарно защитной зоны и жилой постройки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектная документация по объекту «Очистные сооружения хозяйственно-бытовых стоков в мкр. Аграрник п. Борисоглебский Ярославской области Мероприятия по охране окружающей среды». Волжскэкострой, 2014.
2. ГН 2.1.6.2309-07. Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
3. МУК 4.3.2194-07. Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2007.
4. СанПиН 2.2.1./2.1.1.1200-03. Проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация предприятий, планировка и застройка населенных мест. Санитарно защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. Новая редакция с изменениями № 1, 2, 3.
5. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ДОБЫЧИ НЕРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.А. Растворова, А.И. Ахременко

Научный руководитель – **А.И. Ахременко**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

В данной статье рассматривается влияние на окружающую среду добычи нерудных материалов. Данный вид деятельности оказывает в основном шумовое воздействие и производит выбросы в атмосферный воздух в виде неорганической пыли.

***Ключевые слова:** окружающая среда, нерудные материалы, предотвращение, место добычи, атмосферный воздух, уровень шума*

ENVIRONMENTAL IMPACT OF MINING OF NON-METALLIC MATERIALS

S.A. Rastvorova, A.I. Akhremenko

Scientific Supervisor – **A.I. Akhremenko**, Candidate of Technical
Sciences, Assistant Professor

Yaroslavl State Technical University

This article discusses the environmental impact of the extraction of non-metallic materials. This type of activity has mainly a noise impact and produces emissions into the atmosphere in the form of inorganic dust.

***Keywords:** environment, non-metallic materials, prevention, mining site, atmospheric air, noise level*

Одним из ключевых аспектов, оказывающих существенное влияние на состояние экосистем, является добыча нерудных материалов. В данной научной работе рассматривается добыча данных материалов на территории акционерного общества "ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат"

Нерудные материалы представляют собой широкий спектр минеральных ресурсов, которые используются в различных отраслях про-

мышленности. Они включают в себя песок, гравий, глину, щебень и многие другие виды материалов. Добыча таких материалов требует значительных объемов земельных и водных ресурсов. Это может повлечь за собой ряд негативных экологических последствий.

Исходным сырьем для получения материала являются «отходы породы при обогащении угольного сырья в тяжелосредних сепараторах и отсадочных машинах», образованные в результате работы углеобогательного цеха КАДП АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

В результате производства угольного концентрата коксующихся углей в углеобогательном цехе происходит процесс отделения минеральной составляющей (породы) из каменного угля.

Технология получения материала основывается на дроблении и сортировке породы на автоматизированном комплексе специального оборудования - дробильносортировочной установке (далее - ДСУ).

Одним из основных видов воздействия на окружающую среду является запылённость атмосферного воздуха.

Для сокращения выбросов пыли при производстве фабриката предусматривается:

1) устройство системы аспирации на ДСУ;

2) орошение водой участка разгрузки исходного сырья перед ДСУ и конусные склады.

Выбросы в атмосферный воздух представлены в табл. 1.

Таблица 1. Расчетные максимальные приземные концентрации загрязняющих веществ в расчетных точках

Наименование вещества	Расчетная максимальная приземная концентрация в долях ПДК		ПДК, мг/м ³
	РТ №1	РТ №2	
Азота диоксид	0,44790	0,44698	2
Азота оксид	0,05267	0,05260	5
Углерод	0,44192	0,44187	5
Серы диоксид	0,02204	0,02204	0,5
Углерода оксид	0,58110	0,58107	5
Керосин	0,06232	0,06223	1,2
Пыль неорганическая: 70-20% SiO ₂	0,17288	0,17270	0,05

Исследование рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе показали, что максимальные приземные концентрации загрязняющих веществ на границе санитарно-защитной зоны и в жилой зоне не превышают 1 ПДК, воздействие на окружающую среду можно считать допустимым.

Другим видом воздействия на окружающую среду является акустическое загрязнение. Значения уровней шума на границе санитарно-защитной зоны и на территории жилой застройки, а также уровни шумового воздействия в октавных полосах частот не превышают нормативных значений. На территории жилой застройки в дневное время уровень шума составляет 55 дБ, при нормативе 55–70 дБ, и в ночное время – 45 дБ, при нормативе 45 – 60 дБ.

При реализации намечаемой деятельности источниками шумового воздействия будут являться:

- 1) ИШ 0001 – погрузчик;
- 2) ИШ 0002 – вибропитатель;
- 3) ИШ 0003 – дробилка;
- 4) ИШ 0004 – конвейер (от дробилки до грохота);
- 5) ИШ 0005 – грохот;
- 6) ИШ 0006 – конвейер 1;
- 7) ИШ 0007 – конвейер 2;
- 8) ИШ 0008 – вентилятор аспирационной установки;
- 9) ИШ 0009 – погрузчик;
- 10) ИШ 0010 – погрузчик;
- 11) ИШ 0011 – поливомоечная машина.

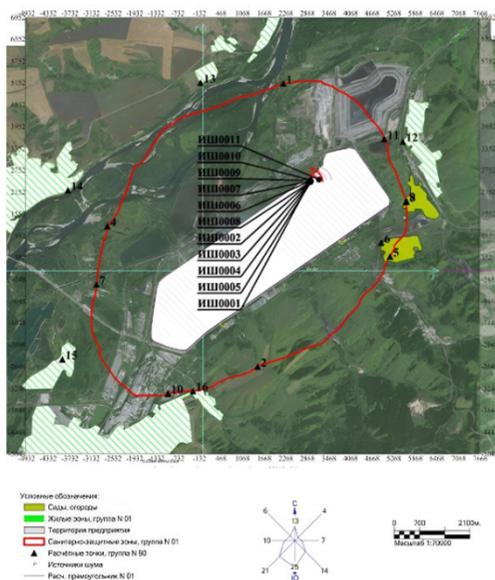


Рис. 1. Карта-схема расположения источников шума в дневное время

Для получения материала изъятие дополнительных земель не предусматривается. На месте добычи потенциально опасные химические и биологические вещества не используются.

Степень воздействия на окружающую среду в месте добычи материала высокая, так как антропогенному воздействию подвержены многие компоненты, но данный вид деятельности не оказывает негативного влияния на окружающую среду. Влияние всех факторов оказывает незначительное воздействие на окружающую среду, так как все значения показателей находятся в пределах допустимых норм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ.
2. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
3. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, СПб, 2005 г. 206 с.
4. Архив погоды. URL: <https://world-weather.ru/archive/russia/novokuznetsk/> (дата обращения 07.03.2023)

СЕКЦИЯ «НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ»

УДК 621.86

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОНТЕЙНЕРНОГО КРАНА НА ОСНОВЕ ПОДГОТОВКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

М.М. Агейчева

Научный руководитель – **С.Д. Иванов**, канд. техн. наук, доцент

Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана

Работа посвящена вопросам анализа и подготовки исходных данных для расчета остаточного ресурса крана. Изучены существующие источники получения информации о работе крана. Повышена точность расчетов за счет корректировки данных исходя из информации о фактической работе крана.

***Ключевые слова:** козловой контейнерный кран, остаточный ресурс крана, регистратор параметров работы крана, группа режима работы крана*

INCREASING THE ACCURACY OF CALCULATING THE RESIDUAL RESOURCE OF A CONTAINER CRANE BASED ON THE PREPARATION OF INITIAL DATA

M.M. Ageycheva

Scientific Supervisor – **S.D. Ivanov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Bauman Moscow State Technical University

The study is devoted to the analysis and preparation of initial data for calculating the residual resource of the crane. Possible sources of obtaining information about the operation of the crane have been studied. Increased accuracy of calculations when adjusting data based on information about the actual operation of the crane.

***Keywords:** container gantry crane, residual resource of the crane, crane operating parameters recorder, crane operating mode group*

На подведомственных Ростехнадзору опасных производственных объектах (ОПО) эксплуатируются около 800 тыс. подъемных сооружений (ПС), из которых более 37% составляют грузоподъемные краны. В среднем за год на ОПО, использующих ПС, происходит 850 аварий, инцидентов и несчастных случаев, из которых более 150 заканчиваются смертельным исходом [1].

Темпы старения парка грузоподъемной техники опережают темпы его обновления. Согласно исследованию Discovery research group [[https://drgroup.ru/анализ рынка кранов грузоподъемных в России](https://drgroup.ru/анализ_рынка_кранов_грузоподъемных_в_России)], ежегодное обновление грузоподъемной техники в России не превышает 3%. При этом средний срок службы кранов составляет 28 лет, что почти в 2 раза превышает нормативный срок службы. Тем не менее многие грузоподъемные машины находятся в работоспособном состоянии [2], в связи с чем возникает вопрос о возможности продления срока их службы на основе оценки остаточного ресурса.

Согласно методике, представленной в РД 10-112-5-97 «Методические указания по проведению обследования кранов мостового типа. Часть 5», исходными данными при расчете остаточного ресурса крана являются его паспортные характеристики и фактические данные о характере его работы. Фактическая группа классификации крана определяется его классом использования и режимом нагружения, которые в свою очередь зависят от числа рабочих циклов C_T и коэффициента распределения нагрузок K_p соответственно:

$$K_p = \sum \left[\frac{C_i}{C_T} \times \left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^3 \right], \quad (1)$$

где C_i - среднее число циклов работы с частным уровнем массы груза;

P_i - массы отдельных грузов при типичном применении данного крана;

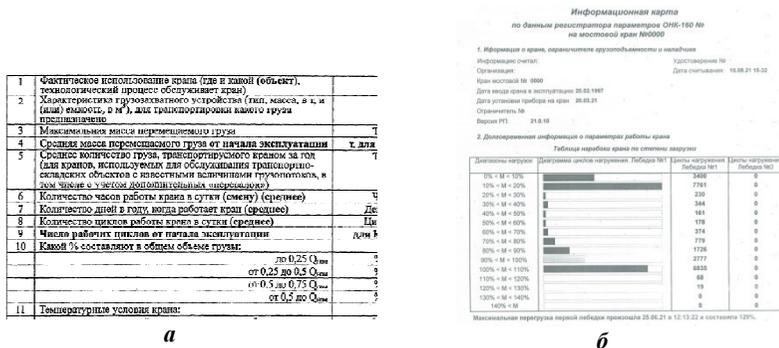
P_{\max} - масса номинального груза.

Информацию о работе крана предоставляют справка о характере работы крана; регистратор параметров (РП); системы дистанционного мониторинга (СДМ) (рис. 1) [3]. Однако точность информации, полученной из данных источников, остается неоцененной [4, 5].

В данной работе рассматривается подход для подготовки исходных данных для расчета с целью повышения достоверности результатов оценки остаточного ресурса крана.

Данный подход был проверен на примере оценки остаточного ресурса реального контейнерного козлового крана, эксплуатируемого крупной логистической компанией в течение 32 лет, паспортного режима работы А6, перегружающего 20-футовые контейнеры.

Анализ исходных данных на соответствие действительности показал, что соотношение порожних и груженых контейнеров по картам терминала и данным РП не совпадает (по картам: 40 и 60%; по данным РП 13 и 87% соответственно).



Начальная дата: 26.10.2023 00:00:00 | Конечная дата: 27.10.2023 00:00:00 | Количество циклов: 56 | Сформировать отчет

Рабочие циклы	ID цикла	Время начала	Вед.	Тип	Коридоры			Коридоры			Коридоры			Расстояние	Расстояние	Расстояние
					начало	конец	длина	начало	конец	длина	начало	конец	длина			
	32046	26.10.2023 13:58:44	26.58	20	27.87	143.44	2.41	0	27.87	143.44	2.35	0	0	0	0	0.54
	32045	26.10.2023 13:54:19	26.58	20	19.74	65.41	5.02	0	39.92	133.12	3.64	0	20.16	68.36	16.31	
	32044	26.10.2023 13:48:27	26.58	20	36.32	119.04	3.67	0	3.79	116.84	3.53	0	33.98	2.67	17.64	

Рис. 1. Исходные данные о работе крана:
а – справка о характере работы крана; б – данные РП; в – данные СДМ

Далее исходные данные были скорректированы, исходя из плана переработки контейнеров на данном терминале, веса перегружаемых контейнеров и реальной настройки РП. На скорректированных исходных данных были определены фактическая группа режима работы крана, а также его остаточный ресурс (табл. 1).

Таблица 1. Результаты расчетов остаточного ресурса крана

	Остаточный ресурс крана в режиме работы А8, лет	Фактическая группа режима работы крана
Расчет согласно РД	-11,7	А8
Расчет на скорректированных данных	-13,4	А8

Согласно методике, представленной в РД, по данным РП кран выработал свой ресурс 11,7 лет назад. Предложенный подход показал, что, работая в режиме А8, кран выработал свой ресурс 13,4 лет назад. При этом паспортный режим работы крана (А6) был превышен.

Таким образом, проведение расчета остаточного ресурса крана на протяжении всего времени его эксплуатации позволит оценить скорость выработки ресурса крана и его фактическую интенсивность работы. Качественная подготовка исходных данных для расчета остаточного ресурса крана позволяет скорректировать график проведения ремонтов и технических обслуживаний крана с целью продления его сроков службы или замены крана при невозможности его дальнейшей эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Короткий А.А.* Управление промышленной безопасностью подъемных сооружений (методологические основы) // Вестник Владикавказского научного центра. 2008. №3. С.65-73.
2. *Иванов С.Д.* Применение цифровых технологий для повышения эффективности промышленного предприятия / С.Д. Иванов, Л.В. Завальная // Сборник научных трудов VIII международной конференции по контроллингу: контроллинг в экономике, организация производства и управления: цифровизация в экономике. 2019. С.124. 128.
3. *Иванов С.Д.* Формирование информационной базы для уточнения расчета остаточного ресурса и улучшения методики планирования ремонтов подъемно-транспортного оборудования с использованием приборов безопасности-регистраторов параметров (на примере кранов) / С.Д. Иванов, Н.Ю. Иванова // Всероссийская научно-практическая конференция «Цифровая экономика: технологии, управление, человеческий капитал» / МГТУ "СТАНКИН". М., 2019. С. 236-241.
4. Объективная информация о работе подъемно-транспортных машин как основа повышения качества информационных систем грузообрабатывающих предприятий / Н.Ю. Иванова, С.Д. Иванов, С.А. Надеженков, А.Н. Назаров // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2023. № 2. С. 81-96.
5. *Иванов С.Д.* Стенд для изучения работы ограничителя грузоподъемности и регистратора параметров работы мостового крана / С.Д. Иванов // Механизация строительства. 2012. № 8(818). С. 32-37.

УДК 629.365

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ШАССИ

К.С. Акимов, Н.С. Семёнов, Д.И. Трошин

Научный руководитель – **Д.И. Трошин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Разработка универсального шасси для возможности установки различного вида оборудования, как строительного, так и сельскохозяйственного назначения, а также эксплуатации в условиях бездорожья.

Ключевые слова: разработка, проектирование, универсальное, шасси

DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL CHASSIS

K.S. Akimov, N.S. Semyonov, D.I. Troshin

Scientific Supervisor – **D.I. Troshin**, Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor

Yaroslavl State Technical University

Development of a universal chassis for the possibility of installing various types of equipment, both for construction and agricultural purposes, as well as off-road operation.

Keywords: development, design, universal, chassis

Вездеходная техника нашла широкое применение в лесозаготовительной, строительной, ресурсодобывающей, геологоразведывательной и других сферах деятельности (рис. 1, 2).



Рис. 1. Вездеход «Шаман» 8x8



Рис. 2. Болотоход «Ямал»

Ввиду узкой направленности подобная техника не находит широкого применения. Теоретический анализ показал, что данная техника применяется в основном для перемещения грузов и людей. Актуальность темы обусловлена проектированием универсально шасси, которое могло бы использоваться как на пневмо-, так и на гусеничном ходу и применяться с различным навесным оборудованием от кунга до экскаватора (рис. 3).

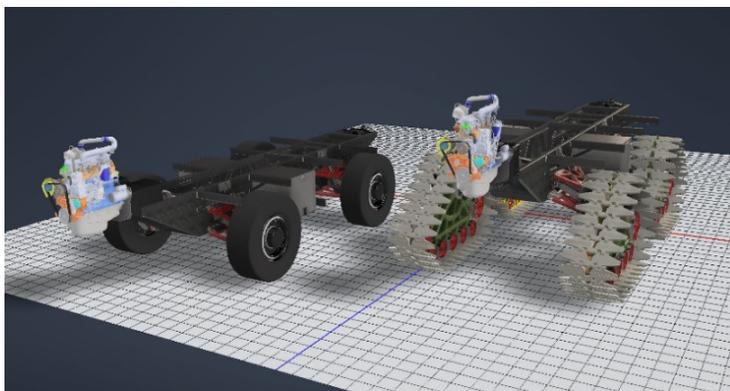


Рис. 3. Общий вид УШ

Конструкция рамы позволяет устанавливать навесное оборудование с любой стороны шасси. На рис. 5 показана 3D-модель рамы универсального гусеничного шасси, спроектированная с помощью САПР.

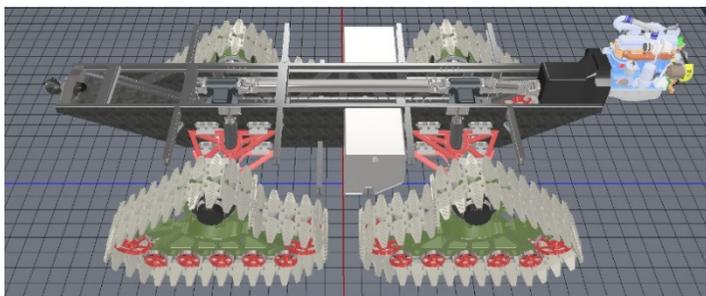


Рис. 4. 3D-модель рамы универсального шасси

Механический привод был выбран вследствие его надёжности и ремонтпригодности.

В конструкции предусмотрено применение гидравлической подвески и рулевого управления, что даёт возможность динамической регулировки дорожного просвета и угла наклона рамы в продольном и поперечном направлениях. Для этого предполагается использование электронной системы управления. Планируется ввести три режима рулевого управления: трасса, подруливание и крабовый ход.

Спроектированная машина может найти применение как в лесозаготовительной отрасли, так и в нефте- и газодобывающей промышленности, при прокладке трубопроводов в заболоченных и труднопроходимых местах.

В перспективе развития универсального шасси планируется проектирование универсальной платформы для монтажа всевозможного навесного оборудования и разработка самого оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора–машиностроителя. В 3 т. Т. 1. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1978. 728 с.
2. *Добронравов С.С.* Строительные машины оборудование: справочник для строит. спец. вузов и инж.-техн. работников. М.: Высш. шк., 1991. 456 с.
3. *Раймпель Й.* Шасси автомобиля: Элементы подвески / пер. с нем. А.Л. Карпухина; под ред. Г.Г. Гридасова. М.: Машиностроение, 1987. 288 с.

МЕТОДЫ РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДЯНЫХ ПОКРОВОВ

Д.В. Афанасьев, И.В. Разгулов

Научный руководитель – **Н.Э. Лысаков**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

В данной работе описаны основные методы разрушения ледяных образований на дорожных покрытиях, тротуарах и других поверхностях, а также аналитически определен наиболее выгодный и удобный из них.

Ключевые слова: лёд, ледоскалывающая машина, дорога, скалывание льда, рабочий орган

METHODS OF DESTRUCTION OF ICE SHEETS

D.V. Afanas'ev, E.V. Razgulov

Scientific Supervisor – **N.E. Lysakov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

This paper describes the main methods of destruction of ice formations on road surfaces, sidewalks, and other surfaces, and also analytically determines the most profitable and convenient of them.

Keywords: ice, ice chipping machine, road, ice chipping, working body

С наступлением отрицательных температур и появлению снежных осадков, на улицах нашей страны происходит образование ледяных покровов. В первую очередь это приводит к увеличению числа травмированных граждан, ежегодно свыше 7 тыс. человек обращаются в травматические пункты [1] и возникает большое количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Это связано с тем, что в условиях отрицательных температур и большой толщине ледяных образований, невозможно используя ручной способ уборки и эффективно бороться с обледенелостью.

Проведя небольшой анализ, были выявлены основные методы разрушения ледяных покровов. Следует отметить, что в настоящее время разработкой ледяных образований занимаются большое количество исследователей, например М.В. Дудкин, в своей работе [2] разработал ме-

тодику разрушения ледяного покрытия на автомобильных дорогах рабочим органом ударного действия и провел большое количество экспериментальных исследований. Однако автором не был проведен сравнительный производительности с существующими машинами.

Наиболее известными способами для скалывания или разработки ледяных покровов является фрезерное оборудование. В работе [3] автор рассчитал и спроектировал фрезерное оборудование для уборки снежно-ледяных образований с дорог и тротуаров, по его мнению, данное оборудование имеет наибольшую производительность и может применяться не только в городских условиях, но и на автомагистралях.

В работе [4] автор доказал, что для разработки снежных ледяных покровов целесообразно использовать резцы, выполненные в виде плоских ножей, установленных под углом 10° относительно продольной плоскости, резцы прикреплены непосредственно к барабану при помощи винтов с потайной головкой, а передние опоры резцов представляют собой установочный винт (рис 1.) Однако для подтверждения полученных результатов требуется создание опытного образца и проведения полевых испытаний.

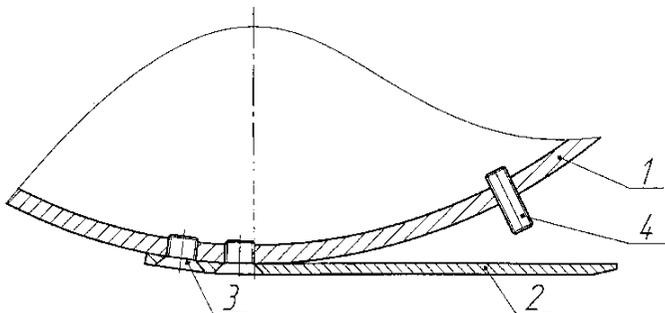


Рис. 1. Форма режущего элемента [4]

В работе [5] автор подробно описал химический способ борьбы с наледью на дорожных покрытиях. Описанный способ довольно простой и не требует никакого дополнительного рабочего оборудования, однако химические реагенты вызывают негативные последствия не только на транспортные средства и на асфальтобетонные покрытия дорог, разъедая и разрушая целостность поверхностного слоя, но и наносят непоправимый вред экологии.

Также имеется техника прогрева дорог горячей водой через трубопровод, но он используется лишь в островных государствах или в государствах с геотермальными источниками. Так как в России таковых

очень мало, для России этот метод не подходит, а прогревать воду другими способами не целесообразно из-за высокой стоимости.

Исходя из проведенного анализа можно сказать, что наиболее оптимальный метод для разработки ледяного покрова, является механический метод, по причине, что химический метод, хоть и является простым и удобным, но все же вредит и машинам, и окружающей среде, а техника прогрева дорожных покрытий трубопроводами с горячей водой, является слишком дорогой и нереализуемой для многих мест.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Девяткова Г.И.* Анализ показателей травматизма, связанного с управляемой причиной (гололед) на примере крупного краевого центра (город Пермь) / Г.И. Девяткова, А.А. Мchedlishvili, Е.Р. Щепеткова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 11-2. С. 267-271.
2. *Дудкин М.В.* Методика разрушения ледяного покрытия на автомобильных дорогах рабочим органом ударного действия / М.В. Дудкин, С.Н. Фадеев, С.Ю. Пичугин // Научно-технический журнал «Новости науки Казахстана». 2015. № 3(125). С. 177-191.
3. *Микирева М.А.* Фрезерное оборудование для уборки уплотненного снега и наледи с автодорог и тротуаров / М.А. Микирева, Д.И. Трошин // Семьдесят третья всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 20 апреля 2020 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 2 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2020. 1 CD-ROM. С. 386-388.
4. Патент на полезную модель № 206257 U1 Российская Федерация, МПК E01H 5/09. Фреза для удаления льдообразований с дорожных покрытий: № 2021112059; заявл. 26.04.2021; опубл. 02.09.2021 / Д.И. Трошин, А.Е. Спиридонов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ярославский государственный технический университет" ФГБОУ ВУЛ "ЯГТУ".
5. Современные методы разрушения льда / А.П. Куляшов, Ю.И. Молев, В.А. Шапкин, А.В. Щепетов. М.: Компания «Спутник», 2005. 135 с.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВИБРОПЛИТ

М.А. Афанасьев, И.С. Тюремнов

Научный руководитель – **И.С. Тюремнов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье приведены результаты статистического анализа технических характеристик самоходных виброплит, а также рассмотрены их основные конструктивные особенности.

***Ключевые слова:** виброплита, уплотнение, грунт, вибрация, относительная вынуждающая сила, вынуждающая сила, масса, мощность двигателя*

ANALYSIS OF TECHNICAL CHARACTERISTICS AND DESIGN FEATURES OF VIBRATORY PLATE COMPACTORS

M.A. Afanasev, I.S. Tyuremnov

Scientific Supervisor – **I.S. Tyuremnov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article presents the results of statistical analysis of technical characteristics of vibratory plate compactors and discusses their main design features.

***Keywords:** plate compactor, compaction, soil, vibration, relative driving force, driving force, mass, engine power*

Самоходная виброплита - грунтоуплотняющая машина (ГУМ) поверхностного действия с плоским рабочим органом. Предназначена для работы в траншеях и котлованах, в пазухах фундаментов и на других участках, где затруднено движение более крупных типов ГУМ (в частности, виброкатков). В отличие от других типов ГУМ, колебательное движение рабочего органа виброплиты обеспечивает не только уплотнение грунта, но и самоходное передвижение самой машины.

К основным параметрам виброплит относят массу, вынуждающую силу, относительную вынуждающую силу, частоту колебаний вибровозбудителя, длину и ширину основания, а также мощность двигателя.

Основным признаком для классификации самоходных виброплит является способ ее передвижения. В зависимости от способа передвижения выделяют реверсивные и неревверсивные виброплиты [1] (рис. 1).

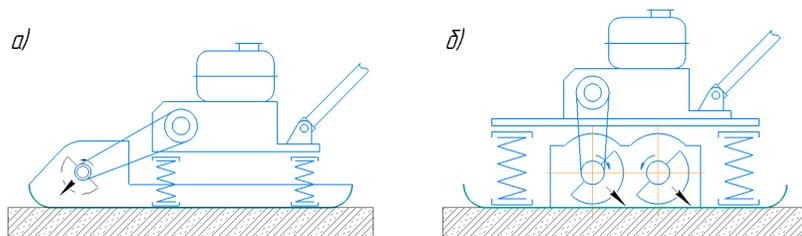


Рис. 1. Конструкция самоходных виброплит:
a – неревверсивных; *б* – реверсивных

Неревверсивные виброплиты имеют одновальный возбуждатель круговых колебаний. Как правило, он смещен в переднюю часть опорной плиты, что обеспечивает возможность для самоходного передвижения машины.

Реверсивные виброплиты, как правило, содержат двухвальный возбуждатель направленных колебаний. Самоходное передвижение виброплиты (в том числе реверсивное) обеспечивается путем смещения фазы колебаний одного из дебалансов [2].

В последние годы в линейках ведущих мировых производителей (AMMANN, BOMAG, Wacker Neuson) появились более совершенные конструкции виброплит. Так, AMMANN предлагает реверсивные виброплиты серии APH с трехвальным вибровозбудителем [3], который обеспечивает более равномерное распределение контактных напряжений по опорной поверхности. Выделяются также виброплиты с дистанционным управлением, в которых маневрирование осуществляется за счет колебательных движений вибровозбудителя. Кроме того, тяжелые виброплиты, выпускаемые ведущими производителями, оснащаются системами непрерывного контроля уплотнения.

В ходе исследования были рассмотрены зависимости основных параметров виброплит от их массы. В общей сложности было рассмотрено 1137 моделей реверсивных и неревверсивных виброплит.

Анализ показал, что во всем диапазоне масс наблюдается существенный разброс параметров для виброплит сопоставимой массы. Такая тенденция наблюдается для моделей как ведущих, так и менее известных производителей виброплит. В совокупности с достаточно ограниченными

рекомендациями производителей, касающихся выбора виброплит для работы в заданных условиях, а также назначения режима их работы, это позволяет сделать вывод о том, что у производителей отсутствуют достоверные и общепринятые методики оценки влияния технических характеристик виброплит на результаты уплотнения грунта в заданных условиях производства работ.

Поскольку значения относительной вынуждающей силы вибровозбудителя нереверсивных (рис. 2) и реверсивных (рис. 3) виброплит во всем диапазоне масс существенно превышают значения, установленные Н.Я. Хархутой [4], это позволяет сделать вывод о том, что все виброплиты работают в отрывном режиме колебаний.

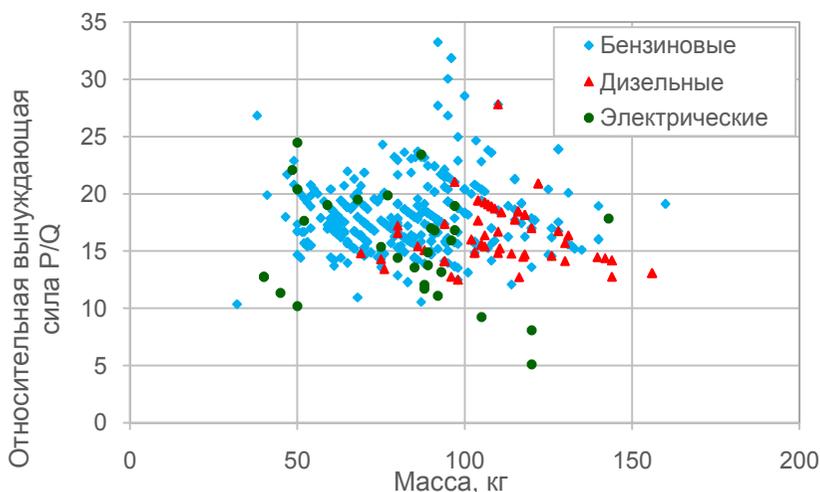


Рис. 2. Значения относительной вынуждающей силы нереверсивных виброплит различной массы

Электрические нереверсивные виброплиты, выпускаемые отечественными производителями (Красный маяк, Вибромаш), оснащаются вибровозбудителями общего назначения и имеют существенно меньшие значения вынуждающей силы, относительной вынуждающей силы и частоты колебаний при соответствующей массе виброплит.

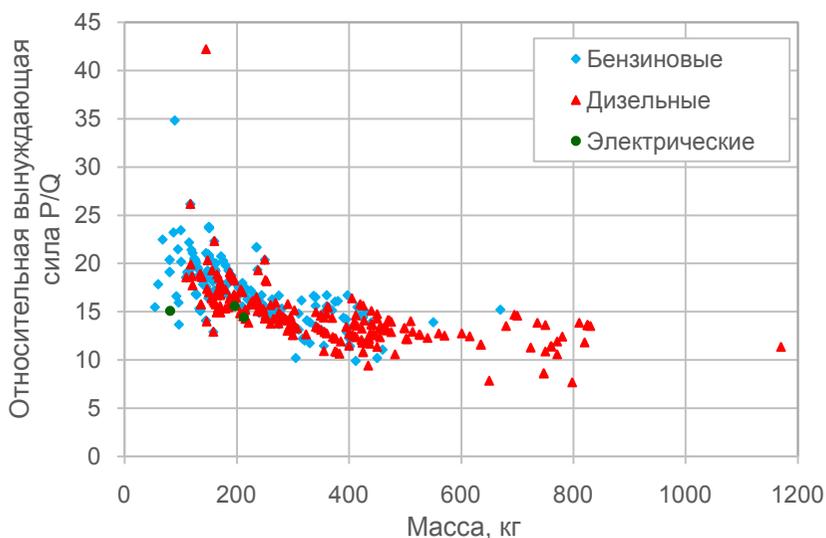


Рис. 3. Значения относительной вынуждающей силы реверсивных виброплит различной массы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюремнов И.С. Уплотнение грунтов вибрационными плитами: монография / И.С. Тюремнов, А.А. Новичихин [Электронный ресурс]. Ярославль. Издат. дом ЯГТУ, 2018. 143 с.
2. Кузьмичев В.А. Исследование рабочих параметров самоходных виброплит, применяемых при уплотнении грунтов / В.А. Кузьмичев, В.Д. Кузьмичев // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 3(28). С. 66-71.
3. AMMANN: сайт. URL: ammann.com (дата обращения: 04.03.2024).
4. Хархута Н.Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н.Я. Хархута, Ю.М. Васильев. Москва: Транспорт, 1975. 288 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВНЕДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ

И.А. Воробьев, А.С. Краюшкин

Научный руководитель – **А.С. Краюшкин**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

В статье рассмотрены основные виды существующей вездеходной техники. Проведен анализ рынка и перспективы развития. Сформирована общая классификация вездеходных машин. Рассмотрен и выведен новый типоразмерный ряд мотовездеходной техники.

Ключевые слова: внедорожная техника, вездеход, классификация вездеходов, мотовездеход, бездорожье, типоразмер

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF OFF-ROAD EQUIPMENT

I.A. Vorobyov, A.S. Krayushkin

Scientific Supervisor – **A.S. Krayushkin**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

The article discusses the main types of existing all-terrain vehicles. A market analysis and development prospects were carried out. A general classification of all-terrain vehicles has been formed. A new standard size range of all-terrain vehicles has been reviewed and developed.

Keywords: off-road equipment, all-terrain vehicle, classification of all-terrain vehicles, all-terrain vehicle, SUV, standard size.

Вездеход – наземное транспортное средство высокой проходимости для передвижения по пересечённой местности, и в условиях отсутствия дорог [1]. В Российской Федерации, обладающей огромными просторами труднопроходимых дорог, лесов и болот, наблюдается интерес к развитию и совершенствованию вездеходной техники [2].

На данный момент не существует единого подхода к классификации вездеходной техники. Однако, анализируя мировых и отечественный производителей, можно сформировать следующую классификацию:

По типу ходового устройства:

– гусеничное

- пневмоколесное
- автомобильного типа
- шнекороторное
- вездеход на воздушной подушке.

2. По типу рамы:

- Вездеходы на цельной раме. В основе конструкции вездехода лежит цельная рама.

- Вездеходы на шарнирной раме. Шарнирная рама позволяет колёсам вездехода размещаться под любым углом друг к другу, что обеспечивает дополнительную устойчивость и предупреждает переворачивание на участках с большим уклоном.

- Сочленённые вездеходы. Состоят из двух отдельных модулей, соединённых между собой с помощью поворотно-сцепного устройства.

3. По типу поворотного устройства:

- бортоповоротное
- управляемая ось.

4. По назначению:

- арктический
- ледовый для серьёзного бездорожья
- болотоход
- снегоход
- вездеход-трансформер (возможность менять тип ходового устройства).

Помимо общей классификации можно выделить основные виды моделей вездеходной техники:

- Квадроцикл – это легкий двухколесный или четырехколесный вездеход, который предназначен для малых скоростей. Он широко используется для развлечений и спорта.

- Шестиколесный вездеход – это вездеход с шестью колесами, предназначенный для передвижения по грунтовым дорогам и снежным трассам.

- Вездеход-амфибия – это всесезонный вездеход с водонепроницаемой кузовной конструкцией или подвеской, что позволяет ему передвигаться как по воде, так и суше, речным и озерным дорогам.

- Вездеход для глубокого бездорожья – обычно обладает высокой пассажирской и грузоподъемностью, мощным двигателем, а также усиленной системой подвески и трансмиссии, что позволяет ему преодолевать сложные препятствия.

- Ледовый вездеход – это вездеход, предназначенный для передвижения по ледяной поверхности. Он используется в основном для прохождения ледяных полей в труднодоступных местах и экспедициях на полюс.

- Болотоход – это вездеход, предназначенный для передвижения по мягким болотистым участкам и заболоченным местам. Он оснащен большими гусеницами или шинами со сверхнизким давлением, которые позволяют ему двигаться по зыбучей местности.

- Снегоход – это вездеход, предназначенный для передвижения на снегу. Он оснащен гусеницами или широкими лыжами, которые создают платформу для передвижения по снегу – сыпучему или имеющему наст.

Наибольший спрос среди покупателей приходит на малолитражную вездеходную технику. Связано это с малыми габаритами, оснащением экономичным одноцилиндровым или двухцилиндровым двигателем. Наряду с высокими скоростями передвижения, в том числе и по пересеченной местности может с успехом выполнять задачи по перевозке и буксировке грузов.

В настоящий момент среди всех мотовездеходов массового потребления самым популярным является квадроцикл. Первым и самым весомым фактом, подтверждающим это, будет количество производителей данного вида техники [3, 4]: Suzuki, Honda, Seegway, Bombardier Recreational Products (BRP), Polaris, Arctic Cat, Kymco, Yamaha, KTM, Kawasaki, Alpha Sports, Husqvarna, Buell Motorcycle Company, Jinhua, Onestar, Yongkang, Kingstar, Thor, Western Power Sports, Aeon, Upbeat, CV4, Rocky Mountain, Sunline, Zono, Tag, Hisun, Jackel, Kasea и Kazuma.

Анализируя вышеперечисленных производителей, можно выделить проблему, которая заключается в отсутствии среднего типоразмера мотовездеходов. Так, если взять модельный ряд квадроциклов, то среднегабаритный размер будет следующий: длина 1950 мм, ширина 1175 мм, высота 1175 мм. Более крупным классом является квадроцикл на шинах низкого давления. Средние значения габаритных размеров: длина 3100 мм, ширина 2000 мм, высота 1700 мм.

Исходя из значений средних размеров, можно увидеть большую разницу по каждому из параметров. Следовательно, можно сделать вывод, что ниша квадроциклов с промежуточными размерами на данный момент отсутствует. Можно предположить габаритные размеры данного типоразмера мотовездеходов: длина - 2525 мм; ширина - 1587,5 мм; высота - 1440 мм.

Средний типоразмер мотовездеходов расширит возможность использования. Так, при увеличении габаритов возможно устанавливать прицепное оборудование. В то же время, не пропадает манёвренность и простота управления, в отличие от более габаритных видов техники. Открывается перспектива использования данных машин научными сотрудниками при проведении экспедиций, а также туристами, при путешествии в нетронутые, отдаленные места. В условиях ухода иностранных

производителей это открывает путь местным производителям к освободившейся нише.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Studfile.net: сайт. URL: <https://studfile.net/preview/9385690/page:2/>
2. Снегоходы. Квадроциклы // Mototip.ru: сайт. URL: <https://mototip.ru/>
2. *Матросов А.В.* Технология и машины лесосечных работ. 2011.
3. Квадроциклы и багги. Мировая статистика продаж 2022 // MOTO TEAM RUSSIA: сайт. 2022. URL: <https://mototeamrussia.com/news/kvadrotsikly-i-baggi-mirovaya-statistika-prodazh-2022-5c6f9e2>
4. *Котович С.В.* Двигатели специальных транспортных средств. Ч. 2: учебное пособие. М.: Мади, 2021. 184 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ

А.В. Воробьев, А.В. Сюрсин

Научный руководитель – **А.Т. Романова**, д-р экон. наук,
профессор

РУТ МИИТ, г. Москва

Статья освещает концепцию мультимодальных транспортных узлов, подчеркивая их значимость в создании эффективных и интегрированных транспортных систем. Рассматриваются принципы планирования, проблемы и перспективы развития МТУ, ориентированных на улучшение логистического потенциала и экологической ситуации в регионах.

Ключевые слова: мультимодальные транспортные узлы, интеграция видов транспорта, эффективное планирование, инновации в транспорте

IMPLEMENTATION OF THE CONCEPT OF MULTIMODAL TRANSPORT HUBS

A.V. Vorobyov, A.V. Syursin

Scientific Supervisor – **A.T. Romanova**, Doctor of Economical
Sciences, Professor

RUT MIIT, Moscow

The article highlights the concept of multimodal transport hubs, emphasizing their importance in creating efficient and integrated transport systems. The principles of planning, problems, and prospects of MTU development aimed at improving the logistics potential and the environmental situation in the regions are considered.

Keywords: multimodal transport hubs, integration of modes of transport, effective planning, innovations in transport

Описание концепции

Концепция мультимодальных транспортных узлов (МТУ) основана на системном планировании и развитии инфраструктуры с учетом спроса на транспортные услуги на транспортные услуги, потенциала ка-

ждого маршрута и линии, а также на переключении грузо- и пассажиропотоков между разными видами транспорта [1].

Основными задачами мультимодальных транспортных узлов, являются:

Оптимизация использования экономико-географических возможностей региона.

Разработка долгосрочных стратегий развития мультимодальных транспортных узлов.

Переключение грузо- и пассажиропотоков между разными видами транспорта. Это ключевая задача для обеспечения эффективного распределения спроса на транспортные услуги и управления трафиком в мультимодальных транспортных узлах.

Интеграция в международные сети перевозчиков, консолидаторов, агентов и экспедиторов.

Данные задачи требуют комплексного подхода, включающего в себя не только техническую и инфраструктурную сторону, но и стратегическое планирование, анализ спроса на транспортные услуги и потенциала, а также взаимодействие на международном уровне [2].

Подходы к решению задач МТУ

Для решения основных проблем мультимодальных транспортных узлов (МТУ) можно применить следующие подходы и технологии:

Интеграция и координация между видами транспорта:

Внедрение единой информационной системы для координации расписаний и оптимизации маршрутов между различными видами транспорта.

Создание централизованных диспетчерских служб для управления пассажирскими и грузовыми потоками.

Улучшение инфраструктуры:

Разработка и реализация комплексных проектов модернизации существующей инфраструктуры МТУ.

Строительство новых объектов, способных эффективно обрабатывать возрастающие объемы транспортных потоков.

Применение современных технологий:

Интеграция цифровых технологий для автоматизации процессов управления и обслуживания в МТУ является ключевым решением большинства поставленных задач.

Внедрение инновационных решений для повышения безопасности и комфорта пассажиров, например систем видеонаблюдения и распознавания лиц для обеспечения безопасности.

Экологические инициативы:

Применение экологически чистых технологий и материалов при строительстве и эксплуатации МТУ.

Разработка программ снижения выбросов и шума от транспортных средств.

Финансирование и инвестиции:

Привлечение частных инвестиций через механизмы государственно-частного партнерства для финансирования развития МТУ.

Создание специальных фондов и программ поддержки развития мультимодальных транспортных узлов.

Развитие цифровых сервисов и мобильности как услуги (MaaS) [3]:

Создание единой цифровой платформы для планирования маршрутов, покупки билетов и управления логистикой в режиме реального времени.

Внедрение интегрированных решений для управления пассажиропотоками и грузовыми перевозками, используя данные в реальном времени для оптимизации маршрутов и расписаний.

Указанные подходы требуют совместных усилий правительства, местных органов управления, частного сектора и научно-исследовательских организаций для создания устойчивой и эффективной системы мультимодальных транспортных узлов, способных удовлетворять текущие и будущие потребности в пассажирских и грузовых перевозках.

Оптимизация производительности мультимодальных транспортных узлов представляет собой многогранную и капиталоемкую задачу, которая имеет высокую актуальность. В связи с этим, ее разрешение требует интегрированного подхода или детально выстроенного плана реализации комплексного инвестиционного проекта с учетом различных временных и ресурсных ограничений.

Решение проблемы риска при интеграции различных видов транспорта МТУ в единую информационную систему

Для управления рисками и их минимизацией при интеграции различных видов транспорта в единую цифровую систему (платформу) должны быть определены единые стандарты и протоколы взаимодействия с платформой, а также единая методика управления своей транспортно-логистической системой (ТЛС). Пример методики управления ТЛС представлен на рис. 1 [4].



Рис. 1. Схема методики управления ТЛС

Данное решение требует комплексного подхода, включающего в себя не только техническую и инфраструктурную сторону МТУ, но и стратегическое планирование развития его компонентов до единого технологического и организационного уровня, анализ спроса на его услуги, четкого понимания реального пропускного потенциала, а также постоянного взаимодействия всех его участников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортное планирование и обслуживание крупных транспортных узлов / Д.В. Капский, Д.В. Мозолевский, В.Н. Кузьменко [и др.] // Вестник Полоц. гос. ун-та. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. 2015. № 11. С. 93-103.
2. *Гаранин С.Н.* Мультимодальные перевозки учебное пособие. М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2018. 108 с.
3. Мультимодальные транспортные узлы / Центр стратегических разработок на транспорте: сайт. Москва 2024. URL: <https://transport-strategy.org/multimodalnyye-transportnyye-uzly>
4. *Карнакова В.В.* Разработка методики комплексного управления транспортно-логистической системой / В.В. Карнакова, И.М. Попова // Транспортное дело России. 2023. № 1. С. 152-154.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗАВИНЧИВАНИЯ ВИНТОВЫХ СВАЙ

А.С. Всемирнов, И.С. Тюремнов

Научный руководитель – **И.С. Тюремнов** канд. тех. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматриваются конструкция оборудования для завинчивания винтовых свай, и приводится конструкция установки, обладающая существенно меньшей массой, что позволяет выполнять работы с привлечением одного оператора.

Ключевые слова: свая винтовая, завинчивание, оборудование, металлоемкость

MODERNIZATION OF EQUIPMENT FOR SCREWING SCREW PILES

A.S. Vsemirnov, I.S. Tyuremnov

Scientific Supervisor - **I.S. Tyuremnov** Candidate of Technical
Sciences. Docent

Yaroslavl State Technical University

The article discusses the design of equipment for screwing screw piles, as well as the design of the installation, which has a significantly lower weight, which allows you to perform work with the involvement of a single operator.

Keywords: screw pile, screwing, equipment, metal consumption

В настоящее время винтовые свайные фундаменты представляют собой одно из наиболее востребованных и перспективных решений для строительства различных сооружений. Их актуальность обусловлена рядом непосредственных преимуществ перед традиционными типами фундаментов, такими как быстрая установка, невысокая стоимость в сравнении с другими видами фундаментов, возможность работы в сложных грунтовых условиях и минимальное воздействие на окружающую среду. Применение специализированного оборудования для завинчивания свай

позволяет обеспечить точность, глубину и надежность установки, что в свою очередь гарантирует стабильность и безопасность сооружения на протяжении всего срока эксплуатации. Кроме того, использование такого оборудования позволяет существенно сократить время и ресурсы на строительные работы, что делает процесс более эффективным и экономически целесообразным.

В настоящее время существует различные конструкции оборудования для завинчивания винтовых свай. На рис. 1 представлены некоторые из них.



Рис. 1. Виды оборудования для завинчивания свай [1]:

а – ручное завинчивание; *б* – переставная установка; *в* – самоходный сваекрут

Каждое из представленного оборудования (см. рис. 1) имеет ряд существенных недостатков. Для ручного способа завинчивания свай требуется не менее трёх рабочих, выполняющих тяжелую физическую работу. Переставная установка имеет существенную массу (более 300кг), что требует привлечение дополнительных рабочих для её перемещения по стройплощадке. Самоходный сваекрут имеет высокую стоимость и не всегда экономически оправдан.

Таким образом, можно сделать вывод, что свайные фундаменты востребованы в настоящее время и поэтому проектирование оборудования для завинчивания свай достаточно актуально. В данной работе ставилась задача модернизации оборудования для завинчивания винтовых свай с целью сокращения обслуживания персонала. Это может быть реализовано за счет уменьшения массы оборудования и минимизации физической нагрузки на оператора.

На рис. 2 представлено модернизированное оборудование для завинчивания винтовых свай.

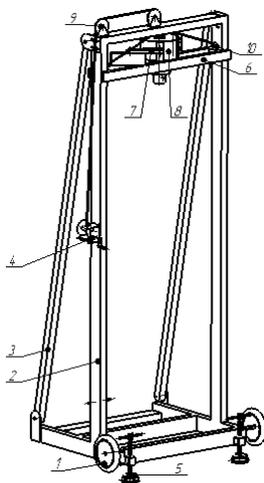


Рис. 2. Модернизированная установка для завинчивания винтовых свай

Рама 2 установки состоит из двух вертикальных стоек из профильной трубы с сечением 100x50 мм и толщиной стенки 3мм. К раме крепятся распорки 3 из профильной трубы квадратного сечения 50x50x2 мм для придания жесткости конструкции. Гидромотор 8 монтируется на каретку 6, передвигающуюся в вертикальной плоскости по двум вертикальным стойкам рамы 2. Привод гидромотора 8 осуществляется от гидростанции. С помощью ручной храповой лебёдки 4 осуществляется подъем каретки с установленной сваей на заданную высоту. При завинчивании сваи храповый механизм лебедки отключается. Свая крепится через палец к выходному валу гидромотора. Оборудование предназначено для завинчивания свай диаметром до 108 мм и длиной до 2,5 м. Рама оборудована тремя винтовыми домкратами 5, обеспечивающих выравнивание установки в вертикальной положение на неровной поверхности. Для передвижения конструкции по участку проведения работ предусмотрены два колеса 1. При разработке конструкции были выполнены необходимые проектные и прочностные расчеты. Общая масса установки составила 190 кг, что в 1,5 раза меньше применяемых аналогов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзор гидровращателей-сваекрутов. URL : <https://www.tradicia-k.ru/articles/>

АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ

Д.А. Гончаренко, Л.М. Шамахов

Научный руководитель – **Л.М. Шамахов**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

В данной работе приведена классификация и анализ разновидностей кинематических схем существующих шагающих роботов. Описана конструкция лабораторной модели шагающего робота с грузовой корзиной для проведения испытаний и изучения возможностей таких машин.

Ключевые слова: робот шагающий, корзина грузовая, схема кинематическая, сервопривод, гироскоп, микроконтроллер

ANALYSIS OF KINEMATIC SCHEMES OF WALKING ROBOTS

D.A. Goncharenko, L.M. Shamakhov

Scientific Supervisor – **L.M. Shamakhov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

This paper provides a classification and analysis of the varieties of kinematic schemes of existing walking robots. The design of a laboratory model of a walking robot with a cargo basket for testing and exploring the capabilities of such machines is described.

Keywords: walking robot, cargo basket, kinematic circuit, servo, microcontroller

Шагающие роботы представляют собой важный класс робототехнических систем, имитирующих движение человека или животных для выполнения различных задач. Важной составляющей разработки таких роботов является анализ и выбор рациональной кинематической схемы, обеспечивающее эффективное передвижение и выполнение поставленных задач. В данной статье проанализирован ряд существующих кинематических схем, рассмотрены их преимущества и недостатки, а также приведена конструкция лабораторной модели шагающего робота с грузовой корзиной и кинематическая схема такого робота.

Классификация шагающих роботов выглядит следующим образом:

1. По типу передвижения:

а) Двухногие роботы - имитируют походку человека, обладают более сложной кинематикой.

б) Четырехногие роботы - обеспечивают высокую устойчивость и грузоподъемность, чем двухногие модели.

в) Шестиногие и восьминогие роботы - обладают хорошей устойчивостью и могут применяться в сложных условиях местности.

2. По месту применения:

а) Промышленные роботы - используются в производственных цехах для выполнения различных задач.

б) Роботы для исследований - применяются в таких областях, как исследование местности, спасательные операции и т. д.

в) Роботы для военных целей - разработанные для использования на поле боя или для выполнения военных задач.

3. По конструктивным особенностям:

а) Экзоскелетные роботы - обеспечивают поддержку или усиление физических возможностей человека.

б) Имитирующие животных - роботы, конструкция которых имитирует анатомию и походку животных.

4. По степени автономности:

а) Автономные роботы - способные принимать самостоятельные решения и выполнять задачи без постоянного контроля.

б) Роботы, действующие под управлением оператора с помощью дистанционных устройств.

Двухногие шагающие роботы [1] (рис. 1, а) имеют близкую к человеческой, модель передвижения, обеспечивающую высокую маневренность. Но в то же время требуют более сложной системы управления для поддержания равновесия и обладают низкой грузоподъемностью.

Четырехногие шагающие роботы [2] (рис. 1, в) обладают более высокой устойчивостью, грузоподъемностью и проходимостью по сравнению с двухногими шагающими роботами. Однако они могут иметь ограниченную способность маневрировать в узких или переполненных пространствах.

Шестиногие и восьминогие роботы [3] (рис. 1, б) благодаря большому числу конечностей, могут передвигаться по сложному и неровному рельефу. Они могут использоваться в труднодоступных местах, например природных катаклизмах или космических исследованиях. Недостатками таких роботов является сложность систем управления и конструкции. Также такие роботы будут более тяжелые, и иметь высокие энергозатраты из-за дополнительных конечностей и приводов.

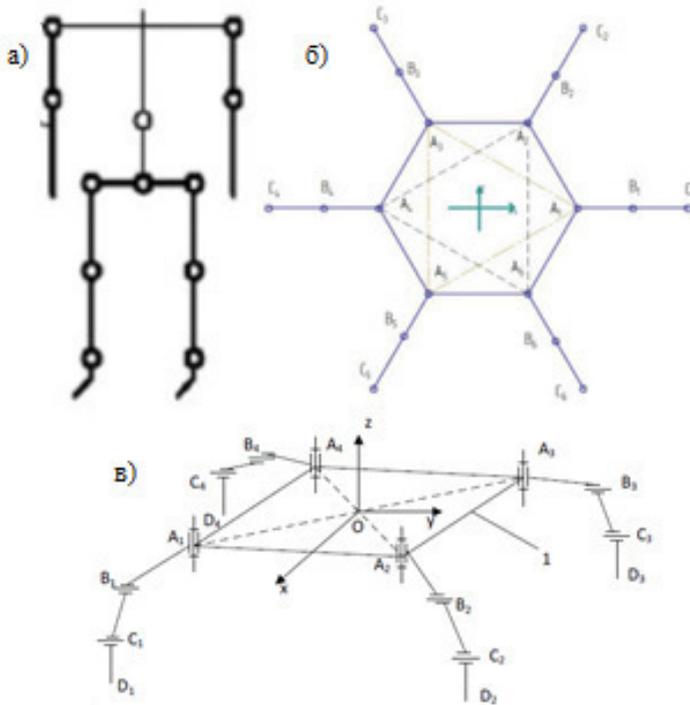


Рис. 1. Кинематические схемы шагающих роботов:

a - двуногие шагающие роботы [1]; *б* – шестиногие шагающие роботы [3];
в – четырехногие шагающие роботы [2]

Проведя обзор существующих конструкций и исследований в области шагающих роботов, было принято решение разработать четырехосного шагающего робота с грузовой корзиной (рис. 2), способной сохранять свое горизонтальное положение. Перемещение конечностей робота и грузовой корзины осуществляется за счет сервоприводов, расположенных в суставах конечностей, что обеспечит не только плавность хода, но и высокую точность позиционирования. Корзина для грузов, расположенная в центральной части рамы, способна сохранять своё горизонтальное положение за счет гироскопа, сигналы с которого обрабатываются микроконтроллером.

Микроконтроллер, в свою очередь, будет управлять сервоприводами, служащими для регулирования положения корзины. Управление роботом осуществляется дистанционно.

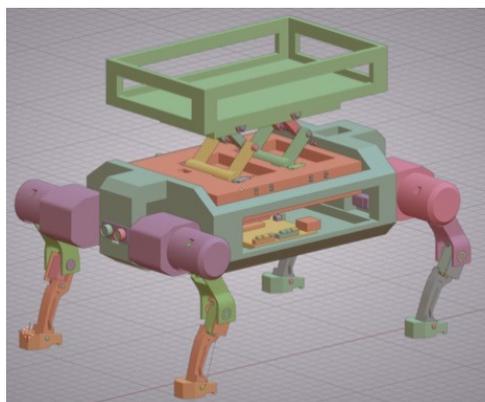


Рис. 2. Конструкция лабораторной модели шагающего робота с грузовой корзиной

Полученная в ходе разработки кинематическая схема четырехного шагающего робота представлена на рис. 3.

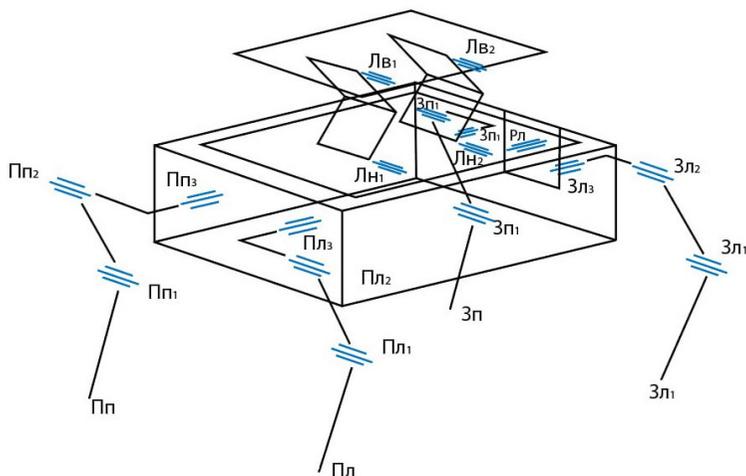


Рис. 3. Кинематическая схема разработанного шагающего робота с грузовой корзиной

Представленная модель разработана в целях проведения лабораторных испытаний. В дальнейшем конструкция будет дорабатываться и совершенствоваться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковальчук А.К. Использование биологического прототипа при проектировании древовидных исполнительных механизмов двуногих шагающих роботов // Известия вузов. Машиностроение. 2011. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-biologicheskogo-prototipa-pri-proektirovanii-drevovidnyh-ispolnitelnyh-mehanizmov-dvunogih-shagayuschih-robotov> (дата обращения: 13.03.2024)
2. Кошечкин А.А. Построение кинематической модели шагающего робота / А.А. Кошечкин, А.Л. Лапиков, В.М. Масюк // Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом. 2016. С. 23-29.
3. Шагающие роботы-проблемы и перспективы / М.Б. Игнатъев [и др.] // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2016. №. 2. С. 128-137.

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОГ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ТЕХНИКИ**

Е.С. Ескин, О.Ю. Улитич, В.Б. Сердобов

Научный руководитель – **Н.К. Тагиева**, доцент, канд. техн. наук

Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)

В статье рассматриваются технологии регенерации грунта и асфальтобетонных покрытий, которые получили широкое развитие, что соответствует темпам строительства дорожных покрытий. Проведённый анализ показал, что конструкции машин для рассматриваемых технологий аналогичны, что предполагает возможность разработки единого шасси с оборудованием, обеспечивающим выполнение операций рециклера и грунтосмесителя.

***Ключевые слова:** грунтосмеситель, рециклер; технологии строительства и восстановления дорог*

**MODERN ROAD CONSTRUCTION TECHNOLOGIES
AND TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF SPECIALIZED
EQUIPMENT**

E.S. Eskin, O.Yu. Ulitich, V.B. Serdobov

Scientific Supervisor – **N.K. Tagieva**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)

The article deals with the technologies of soil and asphalt concrete pavement regeneration, which have been widely developed, which corresponds to the pace of road pavement construction. The analysis has shown that machine designs for the technologies under consideration are similar, which suggests the possibility of developing a single chassis with equipment that provides the performance of recycler and soil mixer operations.

***Keywords:** soil mixer, recycler; road construction and rehabilitation technologies*

В процессе эксплуатации дорожных покрытий происходит старение битума вследствие сложных структурных и химических реакций под

влиянием воздействия на асфальтобетон различных факторов [5]. На тонкий слой битума оказывают воздействие кислород и температура воздуха, вода, состояние поверхности минерального материала. При этом скорость старения асфальтобетона зависит от его остаточной пористости. Старение битума вызывает изменение его состава, проявляющееся в увеличении твердости, хрупкости битума, снижении долговечности покрытия. Регенерация асфальтобетонных покрытий позволяет восстановить баланс в заданном составе компонентов вяжущего, в целях предотвращения появления трещин [2, 3]. Опыт регенерации показывает, что проектные организации осуществляют подбор составляющих формально, это приводит к упущениям в сметной стоимости или ошибках при подборе технологии регенерации дорожного полотна [1].

Рециклеры и грунтосмесители широко используются во многих странах в технологиях строительства и реконструкции дорог. В России эти технологии получили широкое развитие, что соответствует темпам строительства дорожных покрытий не только асфальтобетонных, но и грунтовых. Последнее упоминание об этой технологии в СМИ – 2020 год, город Калининград, пос. Клиновка, и Ярославская область, участок дороги «Данилов – Пошехонье» – где использовалась китайская и европейская техника. В пос. Клиновке абсолютно все дороги были обновлены с помощью технологии холодного ресайклинга. На участке дороги «Данилов – Пошехонье» в Ярославской области также ремонт был произведен с помощью холодного ресайклинга.

Технику на специальных шасси с оборудованием ресайклера или грунтосмесителя в России не производят, однако, в последнее время такая техника все чаще встречается на рынке дорожно-строительной техники. Эту ситуацию необходимо исправлять в кратчайшие сроки, что возможно благодаря государственной поддержке производств, в том числе реверсинжинирингу, и требует изучения существующей на данный момент импортной техники для внедрения в производство с дальнейшим совершенствованием конструкции таких машин и уменьшением сроков строительства дорог и их стоимости с обеспечением соответствующего качества. Для этого требуется подготовка инфраструктуры, как производства, так технического обслуживания и транспортирования специальной техники, поскольку они являются новыми в нашей стране.

Технологии строительства асфальтобетонных дорог подразумевают использование текущего полотна дороги в качестве основного наполнителя восстановленного участка (рис. 1, *a*), процесс экологичен с точки зрения использования старого дорожного покрытия и необходимости добавок меньшего количества свежей асфальтобетонной смеси [4]. В западных странах уже давно в полном объеме используют холодный ресайклинг в угоду жестким экологическим нормам и увеличению скорости

процесса восстановлению дорог. Ресайклеры при помощи особой конструкции рамы и рабочего органа могут не только снимать поврежденный участок покрытия, но и сразу обеспечивать насыщение смеси вяжущими добавками. Данная технология активно реализуется эксплуатирующими предприятиями при ремонте дорог.

Сравнивая технологии восстановления дорог при использовании рециклера и грунтосмесителя, стоит отметить значительное сходство, что отражается на их конструкции и позволяет предположить возможность объединения двух конструкции в одну.

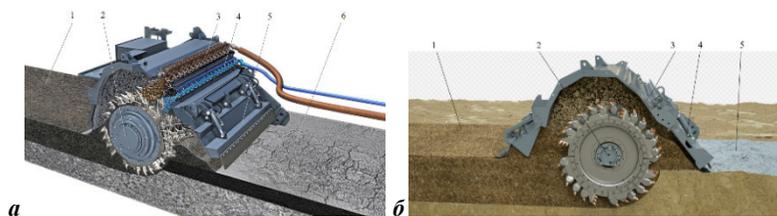


Рис. 1. Технологии:

- а* – рециклера: 1 – свежая асфальтобетонная смесь; 2 – рабочее оборудование ресайклера (фреза); 3 – форсунки подачи битумной смеси; 4 – форсунки подачи воды; 5 – кожух; 6 – старая асфальтобетонная смесь;
- б* – ресайклера: 1 – грунт после стабилизации; 2 – рабочее оборудование ресайклера (фреза); 3 – форсунки подачи вяжущего; 4 – кожух; 5 – грунт естественный

Конструкции рециклеров зависят от технологии холодного ресайклинга, что отражается на применяемом комплекте машин. Чаще всего строится колонна из машин, которые распределяют вяжущую смесь, двух автоцистерн (одна с битумом, вторая с водой), рециклера и катка, если требуется дополнительно выравнять поверхность, используется автогрейдер, грунтосмеситель обеспечивает нужные характеристик основы для твердого асфальтобетонного покрытия. В некоторых конструкциях рециклеров предусмотрены баки для воды и битума, что уменьшает количество машин в колонне, так как нет необходимости в автоцистернах с битумом и водой. Грунтосмеситель предназначен для работы с более мягким материалом – грунтом и может использоваться для создания грунтовой дороги.

Технология перемешивания грунта (рис. 1, *б*) схожи с холодным ресайклингом, однако, сам рабочий орган отличается наличием нескольких дополнительных барабанов – фрез для лучшего измельчения, их геометрическими размерами, формой резцов, количеством оборотов, глубиной рыхления, количеством баков для воды и вяжущего вещества, количеством форсунок в корпусе фрезы [1].

Поверхности, на которых работает сравниваемая техника, различны, что определяет их конструкцию: грунтосмеситель напоминает автогрейдер, поскольку он чаще работает на неровных поверхностях, ресайклер – по выровненному покрытию асфальтированного покрытия.

Грунтосмеситель продлевает аналогичную работу, но на других оборотах и использует другую конструкцию рамы для нивелирования поверхностной неровности. Схожесть технологий и отчасти конструкций предполагает разработку единого шасси с оборудованием, обеспечивающим выполнение операций рециклера и грунтосмесителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Долматов Н.П.* Модернизация конструкции дорожной фрезы на базе трактора МТЗ-82.1 / Н.П. Долматов, С.В. Египко, А.А. Коробейникова // Мелиорация и водное хозяйство: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Шумаковские чтения), посвящённой 120-летию со дня рождения учёного в области гидравлики Скибы Михаила Матвеевича, Новочеркасск, 01–03 ноября 2022 года / Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова. Выпуск 20. Новочеркасск: Лик, 2022. С. 255-259. EDN NIPLAV.
2. *Квитко А.В.* R вопросу применения горячей регенерации ПРИ РЕМОНТЕ асфальтобетонных покрытий / А.В. Квитко, Е.Е. Медрес, Б.Н. Карпов // Научный журнал. 2017. № 5(18). С. 15-19. EDN YNWRXZ.
3. *Мурзич С.А.* Применение песчано-щебеночной смеси при строительстве автомобильных дорог из укрепленного грунта / С.А. Мурзич, С.И. Булдаков, К.В. Сарафанов // Транспорт Урала. 2015. № 3(46). С. 102-104. EDN UKFQUD.
4. *Миролюбов Д.И.* Использование новейших разработок в дорожном строительстве / Д.И. Миролюбов, Т.Р. Габдуллин // Техника и технология транспорта. 2019. № 4(15). С. 1. EDN VZYDPB.
5. *Хомяков Я.С.* Укрепленных грунтов и их применение в конструкции земляного полотна ВСМ // European Scientific Conference: сборник статей XXI Международной научно-практической конференции, Пенза, 07 июля 2020 года. Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. С. 46-50. EDN NPXUDQ.

УДК 621.86

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ОТ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭНКОДЕРА

М.Ю. Йылмаз

Научный руководитель – **С.Д. Иванов**, канд. техн. наук

Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана

Экспериментально исследовано влияние конструкционного исполнения датчика скорости на точность определения скорости электродвигателя и времени переходного процесса в нем. Получена зависимость погрешности измерения скорости от разрешающей способности энкодера.

Ключевые слова: энкодер, измерение скорости, крановый привод, динамические параметры, безопасность эксплуатации кранов

EXPERIMENTAL STUDY OF THE ERROR IN DETERMINING THE SPEED OF AN ELECTRIC MOTOR ON THE RESOLUTION OF THE ENCODER

M.Yu. Yilmaz

Scientific Supervisor – **S.D. Ivanov**, Candidate of Technical Sciences

Bauman Moscow State Technical University

The influence of the design of the speed sensor on the accuracy of determining the speed of the electric motor and the time of the transient process in it was experimentally studied. The dependence of the speed measurement error on the encoder resolution was obtained.

Keywords: encoder, speed measurement, crane drive, determination of dynamic parameters, safety of crane operation

Условием обеспечения безопасности эксплуатации подъемного-транспортного оборудования является оснащение его приборами безопасности, которые защищают кран в целом и каждый его механизм в отдельности от разовых превышений паспортной грузоподъемности и интенсивности работы в течение всего срок службы [1].

Требование работоспособности применяемых алгоритмов приборов безопасности нового поколения [2] поставило задачу определения качества получаемой первичной информации. Одним из информативных параметров кранового привода является скорость электродвигателя [3-5].

В данной работе получено сравнение теоретического и экспериментального способа определения скорости электродвигателя, а также выявлено влияние характеристик датчика скорости на точность измерения.

Экспериментальная установка – мостовой кран КМГ-201, установленный в лаборатории кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Основные параметры установки приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры экспериментальной установки

г/п, т	Двигатель механизма подъема	Мощность двигателя подъема, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Груз, т
2 т	МТКН -112-6	5 кВт	915 об/мин	10 x 0,2

Получена экспериментальная (рис. 1, а) и на основе формулы (1) теоретическая (рис. 1, б) характеристика разгона двигателя механизма подъема.

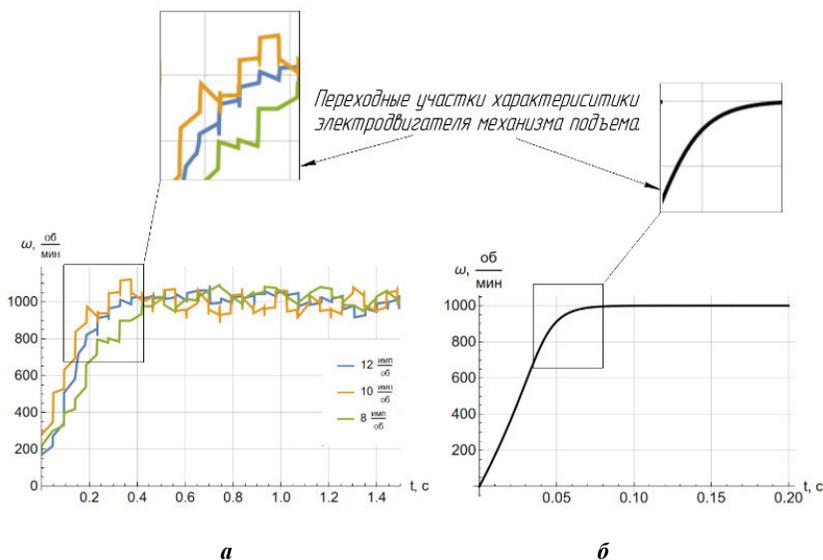


Рис. 1. Графики исследуемого участка цикла работы механизма подъема:
а – экспериментальный, б – теоретический

$$\omega = \frac{1}{J} \int \frac{2M_{кр}}{\frac{s}{s} + \frac{s_k}{s}} dt, \quad (1)$$

где J – момент инерции электродвигателя, кг·м²;
 $M_{кр}$ – критический момент электродвигателя, Нм;
 s – скольжение электродвигателя;
 s_k – критическое скольжение электродвигателя;
 ω – скорость вращения электродвигателя, об/мин.

На установившемся участке графика присутствует гармоника с амплитудой 10%, период которой соответствует разрешающей способности энкодера.

Таблица 2. Время разгона при различном разрешении энкодера

Количество импульсов на оборот	Время участка пуска, мс			$\bar{x} \pm \Delta x$
6	324	279	284	302±18
8	226	252	238	240±13
10	216	198	205	207±9
12	181	186	184	184±3

По результатам таблицы 2 с помощью математического пакета WolframMath была получена аппроксимирующая функция времени переходного процесса электродвигателя механизма подъема:

$$f(x) = -\frac{209}{x^2} + \frac{310}{x} + 149. \quad (2)$$

Предел функции (2) принят действительным значением времени пуска кранового электропривода $t_{n,0}=149$ мс.

В таблице 3 представлены результаты определения погрешности в зависимости от конструкционного исполнения датчика.

Таблица 3. Ошибка времени разгона от разрешения энкодера

	Кол-во импульсов на оборот	Действительное значение времени переходного процесса, мс	Полученное значение времени, мс	Погрешность Δ , %
Теория	-	149	70	213
Эксперимент	8		240	38
	10		207	28
	12		184	19

Увеличение количества импульсов, наоборот, способствует повышению точности фиксации переходных процессов, при этом существует предел этой погрешности.

Выявлена зависимость погрешности определения времени переходного процесса электродвигателя от разрешающей способности энкодера. Используя данную зависимость, возможно обоснованно подобрать характеристику датчика скорости для конкретной задачи в зависимости от требуемой точности и обеспечить надежность работы алгоритмов, основанных на обработке информации о скорости двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов С.Д.* Формирование информационной базы для уточнения расчета остаточного ресурса и улучшения методики планирования ремонтов подъемно-транспортного оборудования с использованием приборов безопасности-регистраторов параметров (на примере кранов) / С.Д. Иванов, Н.Ю. Иванова // Всероссийская научно-практическая конференция «Цифровая экономика: технологии, управление, человеческий капитал» / МГТУ "СТАНКИН". М., 2019. С. 236-241.
2. *Назаров А.Н.* Алгоритмическая обработка объективной информации о характере работы кранов мостового типа / А.Н. Назаров, С.Д. Иванов // Энергоресурсосберегающие технологии и оборудование в машиностроительной, дорожной и строительной отраслях - 2023: Материалы международной научно-практической конференции, Белгород, 21–23 сентября 2023 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. С. 178-184. EDN WGOGHA.
3. *Назаров, А.Н.* Использование алгоритма весоизмерения на основе фильтра скользящего среднего в регистраторе параметров работы мостового крана / А.Н. Назаров, С.Д. Иванов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2023. Т. 20, № 4(92). С. 418-431. DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-4-418-431. EDN СВІJMP.
4. *Назаров, А.Н.* Движущее усилие двигателя механизма подъема кранов мостового типа в реальных условиях эксплуатации // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2023. Т. 20, № 1(89). С. 34-50. DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-1-34-50. EDN DJBHGB.
5. *Иванов С.Д.* Оценка применимости электрических параметров привода для определения нагрузки на механизм подъема кранов мостового типа / С.Д. Иванов, А.Н. Назаров // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2022. Т. 19, № 1(83). С. 36-47. DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-1-36-47. EDN XZSFJQ.

КЛАССИФИКАЦИЯ НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЕ МОТОБЛОКА

В.В. Алексеев, И.Е. Ершов, Л.М. Шамахов

Научный руководитель – **Л.М. Шамахов**

Ярославский государственный технический университет

В работе рассматривается классификация навесного оборудования для мотоблоков и проблемы, возникающие во время эксплуатации данного оборудования. Производится оценка эффективности и направление дальнейшего развития навесного оборудования для мотоблока.

Ключевые слова: мотоблок, навесное оборудование, крепление.

CLASSIFICATION OF MOTOR-BLOCK ATTACHMENTS

V.V. Alekseev, I.E. Ershov

Scientific Supervisor – **L.M. Shamahov**

Yaroslavl State Technical University

The paper considers the classification of attachments for tillers and the problems that arise during the operation of this equipment. An assessment of the effectiveness and direction of further development of attachments for the tillerblock is being carried out.

Keywords: tillers, attachments, fastening

Мотоблоки [1] делятся на несколько видов: легкие – вес до 40 кг, мощность – 5-7 л.с. Рассчитаны для работ на земельных участках площадью не более 40 соток. Ширина захвата – в пределах 85 см. Не подходят для культивации тяжелого грунт. Средний класс – более мощные агрегаты, до 9 л.с., вес – до 120 кг. Успешно справляются с обработкой участков до 1 гектара, применяются для очистки территории от сорняков и в качестве снегоуборочной машины. Ширина захвата – до 100 см. Тяжелый класс – самый мощный вид мотоблоков, относящийся к профессиональному типу. Вес агрегата может достигать 180 кг, ширина захвата – 100-135 см. Подходит для обработки участков площадью до 4 гектар. Мощность оборудования – 9-17 л.с. Для работ, которые так или иначе отно-

сятся к кафедре строительных и дорожных машин, подходят мотоблоки среднего и тяжелого вида, т. к. для них предназначено более тяжелое и громоздкое оборудование.



Рис. 1. Мотоблок АГАТ [2]

Навесное оборудование для мотоблока. Корчеватели используются для извлечения из земли пней, которые остались после спиленных деревьев. Цилиндрические щетки используются для уборки тротуаров и проезжей части от песка, грязи, мелких веток и листьев. Отвалы, установленные на мотоблок, подходит для устранения заторов, созданных сыпучими субстанциями (снег, песок), ветками или другими относительно подвижными предметами. Снегоуборочное приспособление [3] предназначено для уборки снега в стесненных условиях. Роторные оборудование используется для равномерного распределения удобрений, семян, соли.

Также навесное оборудование разделяют по способу работы на механические (используют механическую силу, передаваемую от мотоблока) и автоматические (оборудование самостоятельно выполняет определенные операции без участия оператора). По назначению, существуют

для обработки почвы, уборки территории (предназначены для уборки мусора, листьев, снега и т.д.), для сбора скошенного сена и травы. По размеру и весу разделяют на малогабаритные и крупногабаритные.

Нерегулярная проверка крепежных элементов и оборудования в целом [4], может привести к повреждениям или износу, что впоследствии вызовет проблемы в работе.

Для решения этой проблемы необходимо правильно подобрать и установить соответствующие крепежные элементы, регулярно проверять навесное оборудование и следить за равномерным распределением веса, а также обращать внимание на рекомендации производителя по установке и обслуживанию. А также решением данной проблемы может стать адаптер [5], который позволит присоединить любое навесное оборудование к любому мотоблоку.

Таким образом, была рассмотрена классификация мотоблоков и навесного оборудования, которое возможно использовать при решении различных коммунальных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент на полезную модель № 129333 U1 Российская Федерация, МПК А01В 39/10. мотоблок: № 2013101882/13: заявл. 15.01.2013: опубл. 27.06.2013 / В.Л. Васильев. EDN PJNRHH.
2. «Мини-трактора АГАТ: Мотоблок универсальный «АГАТ»». URL: <https://tnp.gmzagat.ru/>
3. Патент на полезную модель № 212995 U1 Российская Федерация, МПК E01H 5/09. снегоборщик навесной к мотоблоку: № 2021134055: заявл. 22.11.2021: опубл. 17.08.2022 / Ю.С. Дмитриев. EDN СТСМJK.
4. Патент № 2737050 С1 Российская Федерация, МПК В60D 1/167, В60D 1/30, А01В 59/041. Сцепное устройство: № 2020116930: заявл. 07.05.2020: опубл. 24.11.2020 / Г.Ф. Долгов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых" (ВлГУ). EDN TPFYNR.
5. Патент на полезную модель № 192560 U1 Российская Федерация, МПК А01В 75/00, В60D 1/00, А01В 59/042. Адаптер для мотоблока: № 2019116809: заявл. 30.05.2019: опубл. 23.09.2019 / Г.М. Кораблев; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "МОБИЛ К" (ООО "МОБИЛ К"). EDN MIATER.

**НАЛЕДИ НА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЯХ:
КЛАССИФИКАЦИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ
И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ**

Д.М. Камнев, Д.И. Трошин

Научный руководитель - **Д.И. Трошин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается проблема, связанная с удалением снежно-ледяного образования на поверхностях автомобильных дорог, пути ее решения и тенденции развития строительной и дорожной техники.

Ключевые слова: наледь, дорожная техника, снежно-ледяные образования

**ICE ON ROAD PAVEMENTS: CLASSIFICATION,
TECHNOLOGY AND METHODS OF FIGHTING THEM**

D.M. Kamnev, D.I. Troshin

Scientific Supervisor - **D.I. Troshin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The problem associated with the removal of snow and ice formations on the surfaces of roads, ways to solve it and trends in the development of construction and road equipment are considered.

Keywords: icing, road equipment, snow and ice formations

Развитие транспортного сообщения в Российской Федерации растет с каждым годом, поэтому обеспечение качественными автомобильными дорогами и автомагистралями, а также их содержание для безопасного передвижения в любое время года является актуальной задачей на сегодняшний день.

Особенно остро этот вопрос возникает в зимний период, когда вследствие обильных снегопадов и резкого перепада температур, не убранный вовремя снег достаточно быстро уплотняется и переходит в состояние льда и других его разновидностей (гололед, наледь, снежно-

ледяной накат и др.). Это приводит к сужению проезжей части автомобильных дорог, что затрудняет движение автомобильного транспорта и повышается уровень аварийности (рис. 1).



Рис. 1. Наледь в прибордюрной полосе

Большое разнообразие видов снежно-ледяных образований (СЛО) с их изменяющимися физико-механическими свойствами при перепадах температур, затрудняет не только очистку автомобильных дорог и тротуаров, но и выбор соответствующей техники для уборки определенного вида СЛО. С точки зрения зимнего содержания покрытий автомобильных дорог, самый трудоемкий процесс – это удаление прочных СЛО в виде льда и снежно-ледяного наката.

К тому же, если говорить только о механическом способе уборки СЛО, нужно отметить, что на сегодняшний день борьба со льдом и снежно-ледяным накатом осуществляется с использованием тяжелых экскаваторов, грейдеров, а также широко используется ручной труд (рис. 2).

Теоретический анализ показал, что на сегодняшний день для удаления наледи с автомобильных дорог и тротуаров используют различные конструкции ручного и навесного на трактор оборудования (фрезерного, молоткового, ударного, вибрационного и др.) (рис. 3). Но ввиду сложности конструкции либо малой эффективности, такое оборудование не находит широкого применения. К тому же при удалении наледи с дорожных покрытий не маловажным является сохранение целостности последнего, что также не могут обеспечить активные рабочие органы, применяемые в настоящее время

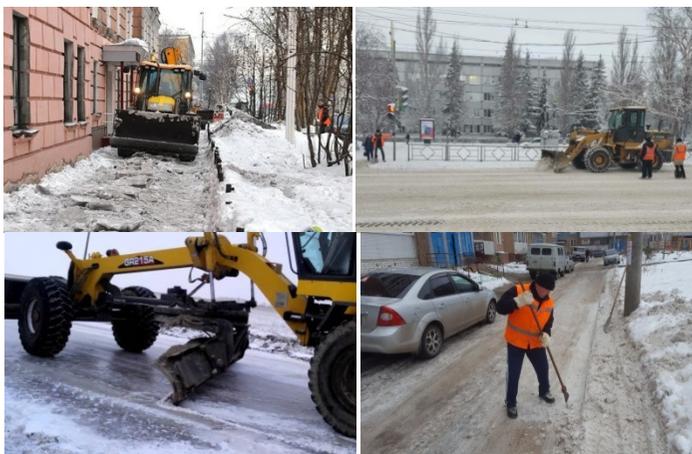


Рис. 2. Способы удаления СЛЮ на дорогах и тротуарах



Рис. 3. Оборудование для удаления СЛЮ с дорожных покрытий:
 1 – «Виброкол» [4]; 2 – тротуарный ледокол «Нева» ЛК-1-ZS [5];
 3 – отвал с рыхлителем для уплотненного снега [6];
 4 – Скалыватель льда УДМ-2000 (Уфадормаш) [7]

На кафедре СДМ ЯГТУ ведутся работы по проектированию рабочих органов активного действия для удаления наледи с дорожных покрытий. В настоящей статье представлена модель навесного фрезерного оборудования на базе мини погрузчика (рис. 4). Оборудование позволяет удалять любые виды обледенений с дорожных покрытий.

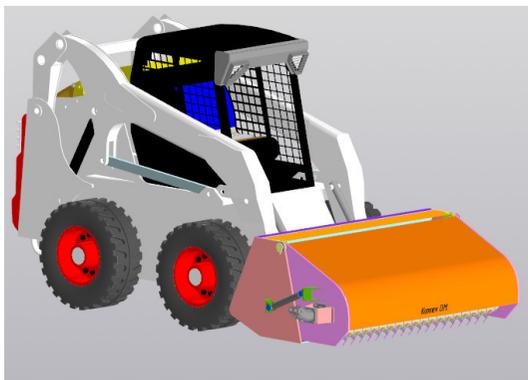


Рис. 4. Фрезерное навесное оборудование

Принцип работы данного фрезерного оборудования (рис. 5) заключается в установке резцов из рессорно-пружинной стали. При контакте резцов с дорожным покрытием они проскальзывают, и не наносят вреда поверхности дорожного полотна. После удаления наледи она скапливается в бункере. За счет боковых гидроцилиндров корпус фрезы поднимается, что позволяет освободить бункер путем наклона рабочего оборудования. Это позволяет сократить состав машино-дорожного отряда.

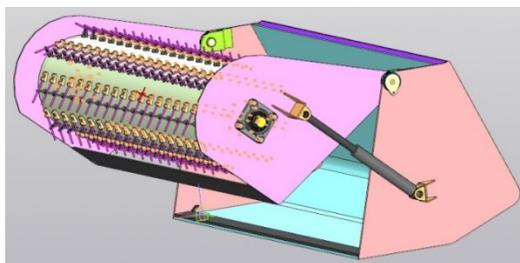


Рис. 5. Фрезерное оборудование в раскрытом виде

В настоящее время проводятся лабораторные исследования по оптимизации конструкции данного оборудования и определения рацио-

нальных геометрических параметров режущих элементов (диаметр резца, углы установки и т.д.) и режимов работы фрезы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зимнее содержание автомобильной дороги: Методические указания / сост. С.Г. Цупиков / ИИСИ. Иваново, 1992. 20 с.
2. *Васильев А.П.* Эксплуатация автомобильных дорог Общего пользования в зимних условиях / А.П. Васильев, В.М. Сиденко; под ред. С.М. Алоян, Т.В. Москвитина, В.В. Кузьмин, Н.В. Боковинова; Ивановский государственный архитектурно-строительный университет. Иваново, 2008. 136 с.
3. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. М.: Стройиздат, 1983.
4. «Летнее» оборудование зимой дешевле // Традиция: сайт. URL: <https://www.tradicia-k.ru/news/letnee-oborudovanie-zimoy-deshevle/year=2017/>
5. Ледокол тротуарный "Нева" ЛК1-ZS(GB-225) // Мототехника «Нева»: сайт. URL: <https://motoblok.ru/produksiya/ledokoli/ledokol-trotuarnyy-neva-lk1zsgb225/>
6. Снегоочистительное оборудование // ООО «ЛЗМКМ»: сайт. URL: <https://lzmkm.ru/снегоочистительное-оборудование/>
7. Скальватель льда УДМ-2000 МТЗ-80, МТЗ-82 // УФАДорМаш: сайт. URL: <https://ufadormash.ru/products/navesnoe-i-pritsepnoe-oborudovanie-na-kdm/skalyivatel-lda-udm-2000/>

КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ МАШИН

Ф.В. Камардин, Г.В. Селиверстов

Научный руководитель – **В.Ю. Анцев**, д-р техн. наук, профессор

Тульский государственный университет

Вопрос формирования необходимой техникой коммунальных хозяйств, дорожно-строительных организаций и различных автохозяйств в рамках оптимизационно-экономических решений является достаточно актуальным. В статье предлагается подход к решению данного вопроса.

Ключевые слова: дорожные машины, строительные машины, коммунальные машины

THE CONCEPT OF FORMING A FLEET OF CONSTRUCTION, ROAD AND UTILITY VEHICLES

F.V. Kamardin, G.V. Seliverstov

Scientific Supervisor – **V.Y. Antsev**, Candidate of Technical Sciences,
Professor

Tula State University

The issue of forming the necessary equipment for public utilities, road construction organizations and various car companies within the framework of optimization and economic solutions is quite relevant. The article suggests an approach to solving this issue.

Keywords: road vehicles, construction vehicles, utility vehicles

Современное состояние вопроса, связанного с выбором и комплектованием парков строительной, дорожной и коммунальной техникой основано, в первую очередь, на определении потребностей по выполнению задач и последующим подбором требуемых машин исходя из объемов работ и требуемой производительности [1, 2].

Однако, технико-экономическое обоснование и решение данной задачи является более сложным и многовариантным, так как необходимо учитывать большее количество факторов, чем это делается сейчас [3, 4].

Для начала обозначим концептуально возможные подходы и их сочетания при оценке возможностей парка техники необходимого для работы в населенных пунктах. Очевидно, что занимаемая площадь, количество жителей, наличие водо- и газоснабжений будут определять объемы работ, их сроки и тип необходимой техники, которая может их выполнять.

Кроме того, климатические условия, сезонность и доступность дилерских центров, запасных частей для технического обслуживания и ремонта, а также специалистов и машинистов необходимой квалификации также окажут своё влияние на выбор. Отметим, что амортизация техники, стоимость её содержания и обслуживания необходимо также будет учесть [5].

С учетом этого, предлагается следующий аналитический подход, позволяющий выбрать одну из нескольких схем комплектования парка техники.

Первая схема основана на том, что комплектация коммунальной, строительной или дорожной техникой выполняется по средним потребностям, сформированным на основе анализа статистических данных. При этом для решения экстренных задач привлекают технику МЧС и военных частей. Затраты на содержание и комплектование являются минимальными, но нужно понимать, что не во всех населенных пунктах или в непосредственной близости от них находятся подобные части. Поэтому, существуют определенные риски, что выполнение коммунальных или дорожных работ окажутся растянутыми во времени сверх нормативов.

Вторая схема идентична первой, но в качестве привлеченных резервов используются мощности организаций, выдающих подобную технику в аренду. Отметим, что наличие таких организаций является не таким распространенным, особенно в небольших населенных пунктах. Но для областных центров такой вариант тоже имеет право на жизнь.

Третья схема будет основана на применении стохастического моделирования при заданном доверительном интервале. Анализ статистических данных по потребностям и видам выполняемых работ, позволяет определить количество и тип техники, которая должна быть в наличии у дорожных организаций и коммунальных хозяйств. Очевидно, что с учетом спорадических процессов или форс-мажорных ситуаций может случиться так, что нужного оборудования не окажется, но сам подход, основанный на математическом обосновании, также имеет право на жизнь.

При этом заметим, что выбранными тремя схемами можно не ограничиваться, а воспользоваться различными комбинациями из них. В итоге, выбор схемы позволит определить дальнейшие шаги по определению количества и типа потребных машин, а также, конкретному производителю.

Очевидно, что дальнейшее комплектование должно производиться по оптимальным соотношениям цена-качество-производительность-стоимость обслуживания, ремонта и содержания. Кроме того, важнейшим параметром будет являться производительность машины. Несмотря на то, что в данной области у исследователей отсутствует единое мнение, было установлено, что в научной литературе на текущем этапе выделены ключевые критерии обеспечения производительности строительных и коммунальных машин. Производительность зависит от многих факторов, как постоянных (конструктивные свойства машины), так и переменных (степень использования технических возможностей машины, вид работ, производственные и организационные условия, квалификация машиниста и др.). Для сведения этих характеристик к одному коэффициенту можно будет воспользоваться методами аддитивной или мультипликативной свертки критериев. Данный аппарат достаточно прост в применении и широко используется в решении различных технических и экономических задач [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надежность и эффективность эксплуатации наземных транспортно-технологических машин / С.В. Репин, С.А. Евтюков, А.В. Азыкин, К.В. Рулис. Петрополис, 2020. 396 с.
2. *Гускаева З.Р.* Оценка экономической эффективности строительной техники // Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития. 2019. №10. С.12-14.
3. *Кутузов В.В.* Эффективность эксплуатации строительных и дорожных машин с учетом изменения их технического состояния // Технология колесных и гусеничных машин. 2021. № 3. С. 57-64.
4. *Лутов Д. А.* Повышение эффективности парка строительных машин // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения: материалы 68-й Международ. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов; 15-17 апреля 2019. СПб.: СПбГАСУ, 2019. 221 с
5. *Васильченко В.А.* Техническое обслуживание гидропривода строительных, дорожных, коммунальных и лесозаготовительных машин / В.А. Васильченко, В.О. Соболев // Строительные и дорожные машины. 2008. № 2. С. 36-40
6. *Кравцов М.К.* Линейная свертка критериев в бикритериальной оптимизации / М.К. Кравцов, О.А. Янушкевич // Известия вузов. Математика. 1998. № 12. С. 63-70.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ОЦЕНКЕ НАПРЯЖЕНИЙ КРАНОВЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

А.А. Кардаманова, А.А. Лебедева

Научный руководитель – **А.А. Кардаманова**, ассистент

Тулский государственный университет

Выявлена необходимость проявления диагностических мероприятий, во избежание преждевременного трещинообразования, в связи с чем рассмотрен ряд методов, позволяющих определить накопленную поврежденность. Приведено сравнение метода тепловизионного контроля и метода тензометрирования.

***Ключевые слова:** метод муаровых полос, нанесение делительных сеток, тензометрирование, нагружение, деформация, тензодатчик*

OBJECTIVITY OF DIAGNOSTICS OF CRANE METAL STRUCTURES AS A QUALITY TOOL

A.A. Kardamanova, A.A. Lebedeva

Scientific Supervisor – **A.A. Kardamanova**, Assistant

Tula State University

The necessity of diagnostic measures to avoid premature cracking has been identified, and therefore several methods have been considered to determine the accumulated damage. The comparison of the thermal imaging control method and the strain gauge method is given.

***Keywords:** moire strip method, application of dividing grids, strain gauge, loading, deformation, strain gauge*

На стадии проектирования заданный уровень надежности можно обеспечить применением современных расчетных методов и конструкционных материалов с высокими механическими характеристиками. Наблюдаются случаи преждевременного трещинообразования, связанного с накоплением усталостной поврежденности. Для этого необходимо проведение диагностических мероприятий, которые должны решить три задачи: выбор оптимального метода диагностирования, определения наличия или отсутствия усталостных трещин, прогноз о дальнейшем накоплении поврежденности [1].

Одной из главных задач является выбор оптимального метода диагностики. Существует ряд методов, который позволяет выявить накопленную поврежденность. К ним относится метод муаровых полос, нанесение делительных сеток, тензометрирование.

Метод муаровых полос является экспериментально-теоретическим методом выявления деформаций и перемещений по чередующимся светлым и темным полосам, которые возникают впоследствии механической интерференции. Возникает он при наложении двух или более систем линий, сеток, растров или точек. Пример данного метода показан на рис. 1. Данный метод предусматривает изготовление контрольного растра, нанесение растра на место до его деформации и наложение его после деформации на контрольный. Наблюдаемые при наложении муаровые полосы являются геометрическим местом точек, получающих одинаковое перемещение в направлении, перпендикулярном к линиям контрольного растра. Муаровый эффект есть оптическое явление, возникающее при наложении мелких сеток. Длина волны света в этом эффекте не имеет значения, поэтому муаровый эффект иногда называют механической интерференцией, по аналогии с обычной интерференцией света [2].

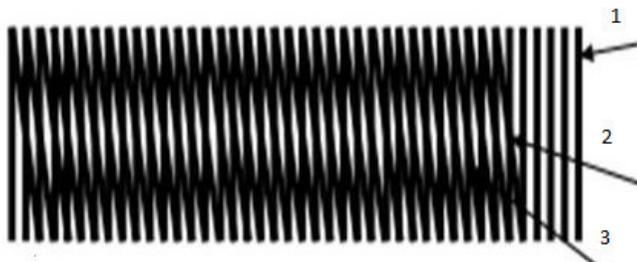


Рис. 1. Метод муаровых полос:

1 – неподвижная решетка; 2 – подвижная (наклонная) решетка;
3 – муаровая полоса

Исследования деформаций при разрушении материалов методом делительных сеток показывают влияние концентрации напряжений на прочность деталей. Метод делительных сеток является старейшим и наиболее часто применяемым экспериментальным методом исследования больших упругих и пластических деформаций. Метод основан на нанесении на исследуемый объект делительной сетки, представляющей из себя систему меток, форма и положение которых сравнительно просто описываются в какой-либо системе координат (обычно декартовой, реже цилиндрической). Перед нанесением сетки исследуемая поверхность тщательно очищается и обезжиривается. Выбираемые для обезжиривания реактивы не должны быть коррозионно-активными для исследуемой поверхности. Нанесение малобазных координатных сеток выполняют фото-

способом, травлением, накаткой, напылением, царапанием, электрохимическим способом. Наиболее просты в использовании накатанные сетки [3].

Чаще всего применяется метод тензометрирования, способ определения напряжённого состояния какой-либо конструкции при возникновении локальных деформаций. Заключается он в том, что определяется место измерения напряжений, далее происходит его очистка от загрязнений, следом устанавливается калиброванный измерительный датчик (тензометры), воспринимающий деформацию. Тензометры – приборы и устройства, предназначенные для измерения малых деформаций. Для определения малых деформаций применяются тензометры различных конструкций: зеркальные, рычажные, электрические и др.

Осуществляется несколько последовательных нагружений и снимаются показания. Деформация вызывает в измерительном датчике определенные изменения сопротивления, эффект которого преобразуется, увеличивается и регистрируется, после чего, полученные данные анализируются. По ним и определяют действующие механические напряжения [4].

Так как данные методы являются весьма трудоемкими и не всегда точны, были проведены опыты, описанные в работах [5, 6] в основе которых лежал тепловизионный метод контроля. Если обратиться к теории деформации, то можно увидеть, что часть энергии расходуется на диссипацию, что в итоге приводит к выделению тепла. Теоретический расчет выделения тепла возможен по известным методикам, однако для практического применения предлагается оценивать изменение температурных полей в зонах максимальной деформации.

Но необходимо учитывать то, что часть тепла будет передаваться в окружающую среду. При этом можно отметить, что современные модели тепловизоров имеют достаточно высокую разрешающую способность, что позволяет сделать вывод об их применении для оценки температурных полей.

Целью тепловизионного метода контроля является установление взаимосвязей между деформациями лабораторных образцов в упругой и пластических зонах при статическом растяжении в интервале нагрузок от 0 до предела прочности с заданным шагом. При непрерывном нагружении лабораторного образца в точках, соответствующих шагам нагружения проводились замеры амплитуд температур в области максимального деформирования материала. Испытания проводились в условиях комнатной температуры и с помощью тепловизора, представленного на рис. 2, оценивались максимальные значения температур.

После чего необходимо исследовать наличие взаимосвязей между изменением напряженно-деформированного состояния материала и амплитудами температурных полей, а также оценить адекватность полученных моделей.



Рис. 2. Тепловизор Testo 885

Если сравнить тензометрирование и тепловизионный метод контроля, то для первого время, затраченное на диагностирование, будет 18 часов (подготовка контрольных площадок для датчиков, наклейка тензодатчика, сушка клея, подключение тензодатчика к АЦП, калибровка датчика, оценка напряженного состояния по пяти нагружениям, обработка полученных данных, снятие тензодатчика, проводки, восстановление лакокрасочного покрытия); а для второго 3 часа (подготовка контрольной площадки, уборка загрязнения, оценка напряженного состояния по пяти нагружениям, обработка полученных данных).

Хочется отметить, что технический анализ применения тепловизионного метода контроля по сравнению с тензометрированием показывает, что временные затраты существенно снижаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хеллан К. Введение в механику разрушения: пер. с англ. М: Мир, 1988. 364 с.
2. Кучерюк В.И. Метод муаровых полос в исследовании прочности и устойчивости конструкций: Учебное пособие / В.И. Кучерюк, И.В. Лобанок, В.А. Чурилов. Тюмень: Тюм. ун-т, 1978. 63 с.
3. Метод делительных сеток / Г.Д. Дель, Н.А. Новиков. М.: Машиностроение 1979. 144 с.
4. Макаров Р.А. Тензометрия в машиностроении. Справочное пособие. М.: Машиностроение 1975. 288 с.
5. Селиверстов Г.В. Оценка диссипации малоуглеродистых сталей в условиях малоциклового нагружения / Г.В. Селиверстов, А.А. Кардаманова, А.А. Лебедева // Изв. ТулГУ. Техн. науки. Вып. 10. Тула: Изд-во ТулГУ, 2022. С. 455-458 с.
6. Селиверстов Г.В. Определение напряженно-деформированного состояния по величинам диссипаций в условиях упругих деформаций при малоцикловоом нагружении / Г.В. Селиверстов, А.А. Кардаманова, А.А. Лебедева // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 7. Тула: Изд-во ТулГУ, 2023. С. 444-447 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЛЯ НЕСКВОЗНЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ

А.А. Кардаманова, А.А. Лебедева

Научный руководитель – **А.А. Кардаманова**, ассистент

Тулский государственный университет

В статье раскрыты закономерности изменения напряженно-деформированного состояния при статическом растяжении элементов конструкции, проведен машинный эксперимент на конечно-элементарных моделях, получена аппроксимирующая функция для оценки полукруглых концентраторов напряжений.

***Ключевые слова:** трещиностойкость, питтинги, концентрация напряжений, дефекты, напряженно-деформированного состояние*

DETERMINATION OF THE STRESS-STRAIN STATE FOR NON-THROUGH STRESS CONCENTRATORS

A.A. Kardamanova, A.A. Lebedeva

Scientific Supervisor – **A.A. Kardamanova**, Assistant

Tula State University

The article reveals the patterns of changes in the stress-strain state under static tension of structural elements, a machine experiment was conducted on finite-element models, and an approximating function was obtained to evaluate semicircular stress concentrators.

***Keywords:** crack resistance, pitting, stress concentration, defects, stress-strain state*

При эксплуатации сложных механических систем необходимо уделить особое внимание прочности и надежности их несущих конструкций. При этом надежность заданного уровня на стадии проектирования может быть обеспечена использованием современных конструкционных материалов, обладающих необходимым запасом прочности. Однако, как показывает практика эксплуатации машин, предельным состоянием которых является усталость или исчерпание трещиностойкости, возникает необходимость оценивать их техническое состояние и ресурс с учетом

накопленных повреждений, которые могут быть вызваны различными факторами. К таким машинам в первую очередь относят грузоподъемные краны мостового типа, работающие в тяжелом или весьма тяжелом режимах. Для корректной оценки накопленной усталостной поврежденности, в первую очередь нужно знать напряженно-деформированного состояние в исследуемом элементе металлоконструкции. Современные пакеты САПР дают возможность проводить такую оценку, что позволяет получить данные для расчета на усталость. Однако тут же возникает вопрос, каким образом учитывать изменение состояния конструкции в течение времени, так как происходит рост и появление новых концентраторов напряжений, изменение механических характеристик материала и уменьшение несущего сечения в случае воздействия коррозионно-активной среды. При этом считается, что концентрация напряжений является величиной постоянной, так как чаще всего вызвана резкими изменениями геометрии самой конструкции.

Но при этом можно отметить, что концентрация напряжений может быть вызвана и появлением эксплуатационных дефектов, которые могут быть представлены, например, питтингами, язвами, различной формой надрезами сменяющейся глубиной по сечению материала. Взяв для наглядности коррозионный процесс питтингообразования можно отметить, что его развитие проходит степенно, начиная с поверхностных слоев и заканчивая сквозным отверстием случайной формы. Таким образом, мы получаем стадийный процесс развития концентрации напряжений в течение всего срока эксплуатации металлоконструкции грузоподъемной машины. Оценка изменения питтингов находящихся достаточно далеко от торцевых поверхностей элементов металлоконструкции, в принципе, изучено в ряде работ [1, 2], в которых отмечено что по мере роста глубины дефекта будет также возрастать, и величина теоретического коэффициента концентрации напряжений. Но при этом не исследован вопрос, что произойдет в том случае, если питтинг образуется на торце элемента.

Рассматривая конструкцию мостовых кранов, можно отметить, что чаще всего они выполняются сварными из листового проката. И нагружение моста происходит таким образом, что нижний пояс испытывает линейное напряжение и при некотором приближении можно говорить о плосконапряженном состоянии. Для оценки изменения величин концентрации напряжения при полусферическом питтинге торца элемента строились, конечно – элементные модели в САПР SolidWorks. К конечно-элементным моделям прикладывалась растягивающая нагрузка и оценивалось значение концентрации напряжений для различных по глубине вырезов. При толщине листа в 7 мм шаг измерений по глубине составлял 0,5 мм.

На рис. 1 показан вырез глубиной 0,5 мм, и концентрация напряжений при такой глубине выреза составила 1,49.

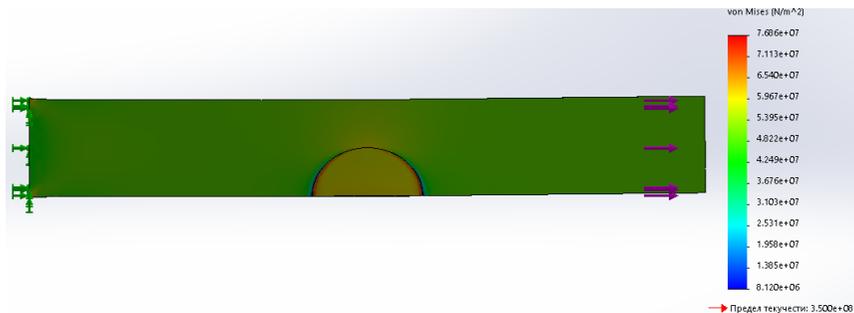


Рис. 1. Концентратор глубиной 0,5 мм

При дальнейшем увеличении дефекта концентрация монотонно возрастает и при вырезе 1,5 мм уже составляет 1,95 (рис.2).

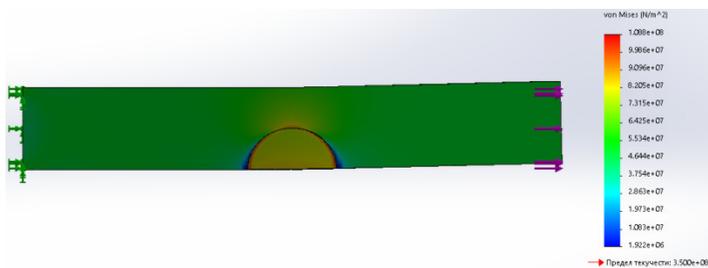


Рис. 2. Концентратор глубиной 1,5 мм

Дальнейшее увеличение глубины выреза и анализ напряженно – деформированного состояния показали, что концентрация увеличивается и для глубины выреза 4,5 мм составляет 3,29 (рис 3).

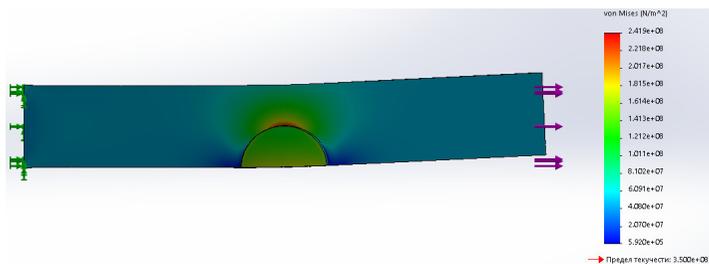


Рис. 3. Концентратор глубиной 4,5 мм

Максимального значения концентрация достигает при сквозном повреждении торца элемента и составляет 4,99 (рис. 4).

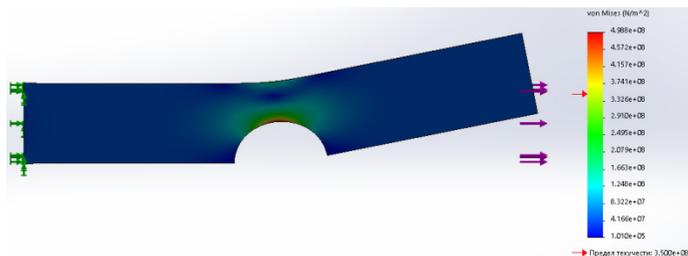


Рис. 4. Сквозной концентратор

Результаты анализ сведены в таблицу и графически показаны на рис. 5.

Аппроксимируя полученные данные линейные зависимостью, было получено уравнение, приведенное на рис. 5.

Таблица 1. Значения номинальных и максимальных напряжений и теоретического концентратора напряжений

Вырез	A	σ ном	σ мах	Концентрация	H
0,5	270	51,9	77	1,49	0,071429
1	260	53,9	91	1,69	0,142857
1,5	250	56	109	1,95	0,214286
2	240	58,4	126	2,16	0,285714
2,5	230	60,9	138	2,27	0,357143
3	220	63,7	162	2,55	0,428571
3,5	210	66,7	188	2,82	0,5
4	200	70	214	3,06	0,571429
4,5	190	73,7	242	3,29	0,642857
5	180	77,8	269	3,46	0,714286
5,5	170	82,4	299	3,63	0,785714
6	160	87,5	333	3,81	0,857143
6,5	150	93,4	438	4,69	0,928571
7	140	100	499	4,99	1

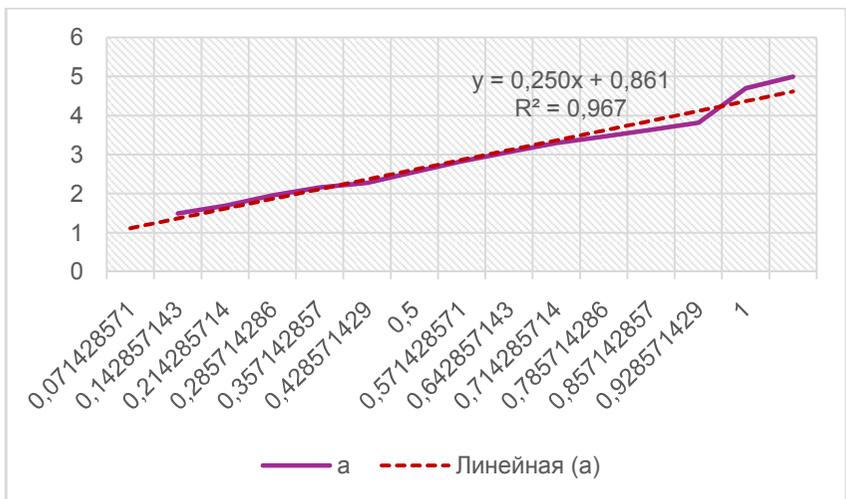


Рис. 5. График изменения концентрации напряжений по глубине дефекта

Данное уравнение позволяет рассчитать значение концентрации напряжений по глубине дефекта. В свою очередь, зная величину концентраций можно воспользоваться известной методикой построения кривой усталости [3-5], которая позволяет оценить остаточный ресурс до возникновения макротрещины критического размера, обеспечивая тем самым достоверный прогноз периода безаварийной эксплуатации машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Селиверстов Г.В.* Расчет усталостной поврежденности металлоконструкций кранов в условиях развития коррозии / Г.В. Селиверстов, К.С. Коломиец // Наземные транспортные-технологические комплексы и средства: материалы Международной научно-технической конференции / под общ. ред. Ш. М. Мерданова. Тюмень: ТИУ, 2017. С. 272-276.
2. Оценка поврежденности металлоконструкций грузоподъемных машин при совместном действии коррозии и усталости и оптимизация их диагностирования / Г. В. Селиверстов, В. Ю. Анцев, Н. В. Анцева, К. С. Коломиец // Черные металлы. 2020. 3. С. 52-57.
3. *Гохберг М.М.* Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. Изд. 3-е, доп. и перераб. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд, 1976. 456 с.
4. *Когаев В.П.* Расчеты на прочность при напряжениях переменных во времени. – М.: Машиностроение, 1977. 232 с.
5. *Серенсен С.В.* Несущая способность и расчеты на прочность деталей машин / С.В. Серенсен, В.П. Когаев, Р.М. Шнейдерович. М.: Машиностроение, 1975. 317 с

ПОВЫШЕНИЕ МАНЕВРЕННОСТИ АВТОГРЕЙДЕРОВ С ПОЛНОПРИВОДНОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

А.В. Комаров, Г.В. Селиверстов

Научный руководитель – **Г.В. Селиверстов**, канд. тех. наук,
доцент

Тульский государственный университет

Вопрос о повышении маневренности автогрейдеров с полноприводной трансмиссией является актуальной проблемой в строительно-дорожной сфере. В статье рассматриваются варианты решения вопросов по повышению маневренности автогрейдеров, и практические советы по реализации.

Ключевые слова: автогрейдер, полноприводная трансмиссия, маневренность, землеройно-транспортные машины

IMPROVING THE MANEUVERABILITY OF GRADERS WITH ALL-WHEEL DRIVE TRANSMISSION

A.V. Komarov, G.V. Seliverstov

Scientific supervisor – **G.V. Seliverstov**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Tula State University

The issue of increasing the maneuverability of graders with all-wheel drive transmission is an urgent problem in the construction and road sector. The article discusses options for solving issues related to improving the maneuverability of graders, and practical tips for implementation.

Keywords: grader, four-wheel drive transmission, maneuverability, earthmoving and transport vehicles

В современном парке строительных и дорожных машин особое место отведено автогрейдером, которые по своей сути являются землеройно-транспортными машинами [1]. Это подразумевает, что такая машина в процессе собственного перемещения транспортирует набранный грунт перед отвалом, расположенным в средней части под хребтовой балкой [2].

К особенностям автогрейдера можно отнести длинную базу, которая может достигать до 10 метров [3]. Такая база обеспечивает высокую стабильность положения рабочего органа при планировке и профилировке поверхностей при строительстве дорог и разравнивание отдельных площадей.

Современные конструкции автогрейдеров выполняются, как правило, как самостоятельные машины (средний и тяжелый классы) или как переоборудованные пневмоколесные трактора с колесной формулой 1x2x2(легкие).

Легкие машины распространены не так широко, как средние и тяжелые, что связано с ограниченностью их применения, особенно в условиях требующих хорошей тяговой способности по сцеплению движителя с поверхностью.

В свою очередь средние и тяжелые модели распространены гораздо шире и используются в самых различных работах как при строительстве дорог, так и при их уборке от снега в зимнее время.

Степени подвижности рабочего оборудования средних и тяжелых автогрейдеров практически не отличаются.

Используется полноповоротная конструкция крепления отвала под хребтовой балкой с возможностью изменения угла резания, его наклона, а также выноса в стороны от продольной оси машины. Все это обеспечивает многофункциональность выполнения задач, но за счет длинной базы мы получаем одно существенное ограничение – низкую маневренность и большой радиус разворота машины.

Конструкторы таких машин пытаются решить эту задачу различными способами: делают дополнительно поворотную заднюю ось, а также шарнирно сочленённую раму машины.

Если первый вариант конструкции достаточно сложен, то выполнить шарнирное сочленение и оснастить его гидравлическим управлением оказалось значительно проще.

Поэтому большая часть автогрейдеров среднего класса выполняет именно с такой конструкцией рамы, однако отметим, что средние модели имеют колесную формулу 1x2x3, что говорит о том, что передняя ось не имеет собственного привода.

В свою очередь тяжелые модели часто выполняются с полноприводной трансмиссией с колесной формулой 1x3x3. При этом передачу крутящего момента на переднюю ось осуществляют по двум вариантам.

Первый – оснащение привода всех колес гидромоторами, которые задают крутящий момент по осям или индивидуально на каждое колесо. Такая конструкция не получила широкого распространения из-за сложности и необходимости увязки крутящих моментов и угловых скоростей всех трёх осей.

Второй вариант – основа на передаче крутящего момента на переднюю ось с помощью карданной передачи, проходящей под хребтовой балкой и соответственно имеющий большую длину [4].

Соединения элементов карданной передачи выполняется с помощью крестовин, которые могут передавать большой крутящий момент, просты в обслуживании, но имеют один существенный недостаток – как правило, углы перегиба не должны превышать 10 градусов, что автоматически накладывает ограничения на применения шарнирно-сочленённой рамы в полноприводных конструкциях трансмиссий автогрейдеров [5].

Для решения этой задачи предлагается использовать соединения элементов карданной передачи, которая будет находиться строго под шарниром рамы с помощью шарнира равных угловых скоростей (шрусов).

Использование этого элемента позволит получить угол перегиба до 20 градусов, устранив тем самым невозможность использования сочетания полноприводной трансмиссии и шарнирно-сочленённой рамы. Очевидно, что для использования такой конструкции необходимо выбирать шарниры равных углов скоростей, которые могут передавать высокий крутящий момент (до 1000 Нм). Например, продукция фирмы Kraft отвечает данным требованиям, что позволяет выполнить реализацию, полноприводной трансмиссии шарнирно сочлененной рамы.

Использования такого подхода при проектировании новых конструкций автогрейдеров или модернизации уже выпускаемых позволяет получить на выходе конкурентно способный продукт с новыми качественными характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Максименко А.Н.* Эксплуатация строительных и дорожных машин: Учеб. пособие для студ. вузов. Минск: Высшая школа, 1994. 221 с.
2. Основы теории, расчета и проектирования строительных-дорожных машин / А.А. Гоберман [и др.]. М.: Машиностроение, 1988. 256 с.
3. *Богатырев А.М.* Проектирование машин для земляных работ. М: Высш. шк. 1985. 298 с.
4. *Гоберман Л.А.* Строительные и дорожные машины: Атлас конструкций. М.: Машиностроение, 1985. 95 с.
5. Автогрейдер ДЗ-98 и его модификации. Орел: Орловский завод дорожных машин, 1994. 165 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА СТРОПОВКИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ФЕРМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ANSYS

Т.А. Краснобаев, М.А. Афанасьев, Д.В. Фурманов

Научный руководитель – **Д.В. Фурманов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье представлен результат расчета фермы при помощи программного комплекса ANSYS Workbench. В процессе расчета была произведена оценка влияния различных факторов на прочность конструкции.

Ключевые слова: ANSYS Workbench, ферма, расчет на прочность, динамический расчет

MODELING THE EFFECT OF SLINGING METHOD ON THE STRESS-STRAIN STATE OF A TRUSS USING ANSYS

T.A. Krasnobaev, M.A. Afanasev, D.V. Furmanov

Scientific Supervisor – **D.V. Furmanov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article presents the result of the truss calculation using the ANSYS Workbench program complex. Throughout the calculation process, the influence of various factors on the strength of the structure was evaluated.

Keywords: ANSYS Workbench, truss, strength calculation, transient analysis

Внедрение систем автоматизированного проектирования (САПР) оказало существенное влияние на развитие промышленности, повысив производительность труда инженера и обеспечив унификацию проектных решений. Одним из важных преимуществ использования САПР является возможность замены натуральных испытаний методами математического моделирования, что позволяет снизить себестоимость проектных работ и оценить поведение объекта испытаний в различных условиях.

В данном исследовании рассматривался процесс подъема пространственной фермы при помощи автомобильного крана. В частности, были подобраны оптимальный вариант строповки; оценены напряжения в местах крепления, возникающие под действием динамических нагруз-

зок; а также проведен расчет захвата на прочность. Для выполнения анализа был использован программный комплекс ANSYS Workbench. Данная среда обладает широким набором аналитических средств для проведения статических и динамических исследований [1, 2].

Статический анализ модели показал, что существенная разница в напряжениях, возникающих при строповке фермы за верхний и нижний пояс (рис. 1, а, б) отсутствует. Проведение дополнительного анализа на линейную устойчивость конструкции также не показало существенных различий между двумя вариантами строповки. Однако модальный анализ показал, что строповка за верхний пояс обеспечивает более приемлемые значения собственной частоты колебаний конструкции и коэффициента эффективных масс (табл. 1).

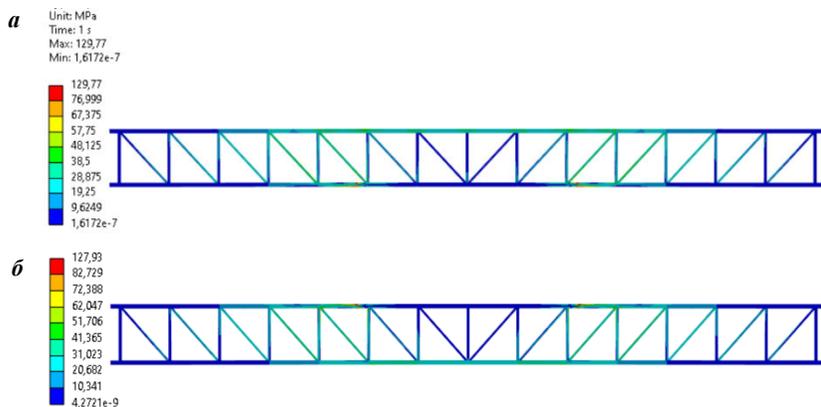


Рис. 1. Статический расчет фермы при различных вариантах строповки: а – снизу; б – сверху

Таблица 1. Значения собственных частот конструкции и коэффициента эффективных масс

Строповка сверху	Перемещения			Повороты вокруг осей			
	Частота, Гц	x	y	z	x	y	z
	3,3701	0,00	0,68	0,00	0,16	0,00	0,49
	6,1336	0,02	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00
	6,3623	0,00	0,20	0,00	0,44	0,00	0,14
	8,5448	0,00	0,00	0,51	0,12	0,37	0,00
Строповка снизу	Перемещения			Повороты вокруг осей			
Частота, Гц	x	y	z	x	y	z	
	4,4675	0,00	0,41	0,00	0,01	0,00	0,30
	6,272	0,01	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00
	8,4875	0,00	0,00	0,55	0,13	0,40	0,00
	8,7586	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,13

На основе выбранного способа закрепления был проведен динамический анализ конструкции с помощью модуля ANSYS Transient Structural. Динамический анализ позволил оценить изменение напряжений в конструкции под действием динамических нагрузок с учетом упругих свойств стропов. Установлено, что в процессе подъема, напряжения в местах крепления возрастают до 3 раз, а сила реакции в месте подвеса до 4 раз по сравнению с результатами статического анализа (рис. 2, *a*, *б*). Таким образом, был принят наиболее опасный расчетный случай с коэффициентом динамичности $k = 4$.

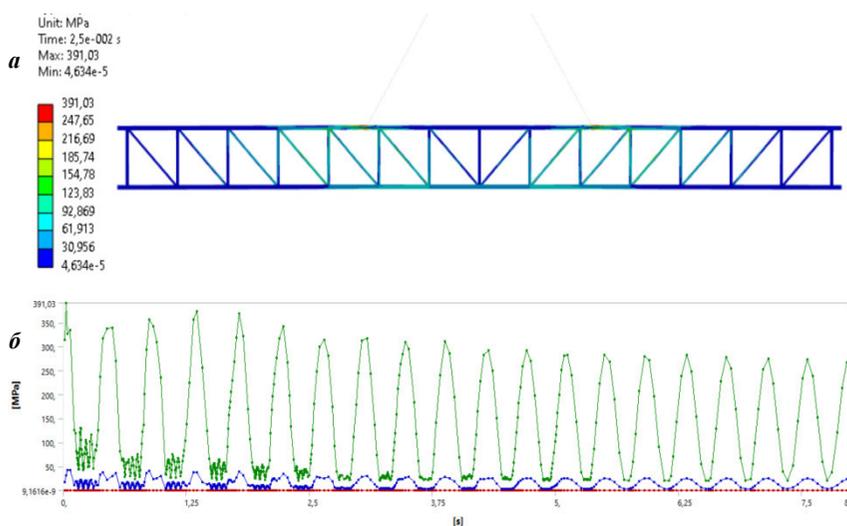
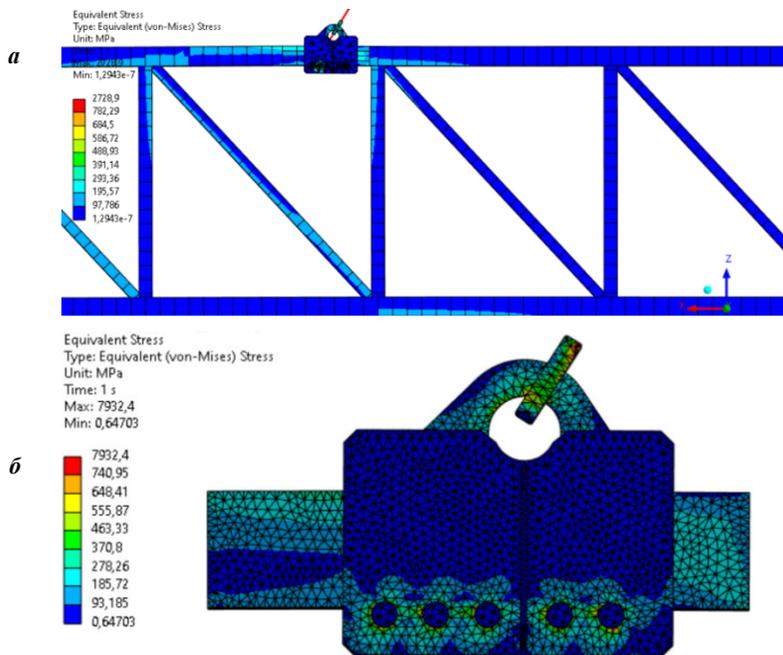


Рис. 2. Расчет в Transient Structural:

a – максимальные значения напряжений в конструкции;
б – характер изменения напряжений в процессе подъема

Наконец, был выполнен статический анализ модели по наиболее опасному расчетному случаю (рис. 3, *a*), что позволило оценить напряжения, возникающие в захватном приспособлении. Был проведен расчет захвата на прочность с использованием метода субмоделинга (рис. 3, *a*, *б*). Суть субмоделинга заключается в переносе значений перемещений с полноценной модели на её отдельные узлы, с последующим определением значений напряжений в отдельном расчете путем интерполяции.



**Рис. 3. Статический анализ модели
по наиболее опасному расчетному случаю:**
а – значения напряжений в ферме; *б* – значения напряжений в субмодели

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федорова Н.Н. Основы работы в Ansys 17 / Н.Н. Федорова, М.Н. Данилов, С.А. Вальгер. М.: ДМК-Пресс, 2017. 210 с.
2. Морозов Е.М. С. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения / Е.М. Морозов, А.Ю. Муйземнек, А.С. Шадский. 2-е изд., испр. М.: ЛЕНАНД, 2010. 456 с.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Т.А. Краснобаев, Д.В. Фурманов

Научный руководитель – **Д.В. Фурманов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматриваются основные типы оборудования статического действия для разрушения железобетонных изделий, отмечается, что методика обоснования конструктивных и технологических параметров таких машин на сегодняшний день отсутствует. В работе предложен подход к разработке математической модели рабочего процесса разрушения железобетонных изделий на основе механики хрупкого разрушения материалов.

***Ключевые слова:** железобетонные изделия, оборудование статического действия, механика разрушения, хрупкое разрушение*

CALCULATION SPECIFICS OF THE PARAMETERS OF MACHINES AND EQUIPMENT FOR THE DESTRUCTION OF REINFORCED CONCRETE PRODUCTS

T.A. Krasnobaev, D.V. Furmanov

Scientific Supervisor – **D.V. Furmanov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article considers the main types of static action equipment for the destruction of reinforced concrete products, it is noted that the justification of design and technological parameters of such machines currently is absent. The paper proposes an approach to the development of a mathematical model of the working process of destruction of reinforced concrete products based on the mechanics of brittle fracture of materials.

***Keywords:** reinforced concrete products, static action equipment, fracture mechanics, brittle fracture*

Современный рынок оборудования для разрушения железобетонных изделий (ЖБИ) представлен множеством различных конструкций как динамического, так и статического действия.

Так как данный тип оборудования чаще всего применяют для монтажа зданий и сооружений в условиях плотных городских застроек, то наибольшее применение нашли конструкции именно статического действия в виде навесного гидравлического оборудования на разные типы базовых машин. К такому типу оборудования относят:

- гидрожницы;
- механические и гидравлические измельчители;
- мультипроцессоры;

Главной проблемой при проектировании рациональных конструкций указанных машин является отсутствие методики расчета их конструктивных и технологических параметров, таких как: необходимое разрушающее усилие на зубьях, форма зубьев, способ их размещения на рабочем органе машины. В совокупности всё это приводит как к удорожанию оборудования, так и к неэффективному использованию базовой машины. Указанная проблема актуальна как для зарубежного, так и для отечественного оборудования.

Обоснование параметров оборудования в первую очередь необходимо начинать с особенностей материала, с которым оно взаимодействует.

Мерой прочности бетона, как и любого другого материала, является предел прочности – максимальное напряжение, при котором наблюдается разрушение его структуры. Как правило, предел прочности бетона связан с его прочностными характеристиками: пределом прочности на сжатие, растяжение, сдвиг. Отметим, что при сложном напряженном состоянии определение прочности метода является далеко не тривиальной задачей.

Существующие теории прочности бетона условно разделяют на три группы: феноменологические, структурные и статистические. Каждая теория включает в себя различные критерии прочности, которые позволяют определить наступление предельного состояния в окрестности точки материала при любом тензоре напряжений. Разработка многих феноменологических гипотез прочности (Кулона-Мора [1], Друкера-Прагера [2], Вильяма-Варнке [3], Колованича [4]), которые применяются для бетона, связана с определением конструктивных показателей прочности. Безусловно, эти подходы представляют существенный интерес и при анализе рабочих процессов машин для разрушения. Однако, применение только указанных подходов не позволяет полностью оценить объемное разрушение материала с формированием хрупких мезотрещин и магистральных трещин.

Решение указанных задач возможно с позиции механики хрупкого разрушения, основные положения которой были предложены Аланом Гриффитсом [5] еще в начале прошлого столетия. В дальнейшем, данная гипотеза была уточнена поправкой Орована, он показал, что у менее

хрупких материалов на образование новых краёв трещины расходуется энергия пластического деформирования, значительно превышающую удельную поверхностную энергию тел [6]. Предельное состояние материала по Оровану описывается:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{E \cdot G_c}{\pi \cdot a_{кр}}}, \quad (1)$$

где G_c – вязкость разрушения, Дж/м²; E – модуль упругости, ГПа; $a_{кр}$ – критическая длина трещины, м.

Наиболее важным параметром в данном случае является вязкость разрушения, по сути своей это энергия, поглощаемая при образовании трещины, соответственно, чем ниже её значение, тем проще трещина распространяется в материале.

В рамках выполнения научно-исследовательской работы, в программном комплексе ANSYS была составлена следующая модель (рис. 1), в ней рассматривается процесс разрушения железобетонной сваи путем вдавливания в неё наконечников различной формы: сферы радиусом 8 мм и клина с углом заострения 30°, длиной 30 мм.

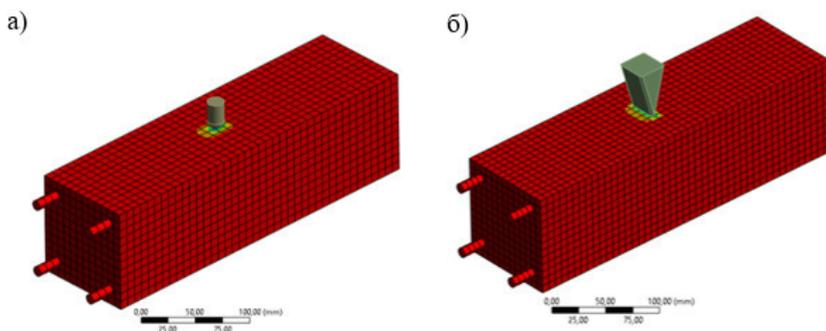


Рис. 1. Модель в среде ANSYS:

а – вдавливание сферического штампа; *б* – вдавливание клинового штампа

Модель разрушения бетона и железобетона опирается на то, что полное разрушение конструкции наступает при достижении необходимых значений силового и энергетического критериев.

$$\begin{cases} \sigma_{экв} \geq \sigma_{вр} \\ E_{упр} \geq G_c \cdot S \end{cases} \quad (2)$$

где $\sigma_{экс}$ – значения напряжений, в месте контакта, МПа; $\sigma_{вр}$ – предел прочности образца бетона, МПа; $E_{упр}$ – энергия упругих деформаций, Дж; S – площадь образовавшейся магистральной трещины, м².

Отметим, что для решения указанной задачи предполагается, что площадь новых поверхностей S для разрушения типовых материалов, уже известна.

Гипотеза предполагает, что хрупкое разрушение наступает, когда выполняются два критерия:

- напряжения в месте контакта превышают предел прочности бетона (силовой критерий).

- энергии упругих деформаций достаточно для преодоления вязкости разрушения материала и образования магистральной трещины площадью S (энергетический критерий).

Интерес данной гипотезы заключается в том, что она предлагает использовать критерии хрупкого разрушения не к процессам связанным, например, с эксплуатацией ЖБИ [7, 8], а непосредственно к механизму их разрушения специально разработанным оборудованием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Coulomb Ch. A.* Théorie des machines simples en ayant égard au frottement de leurs parties et à la roideur des cordages, Nouvelle édition. Paris: Bachelier, 1821, 368 p.
2. *Drucker D.C.* Soil mechanics and plastic analysis for limit design / D.C. Drucker, W. Prager // Quarterly of Applied Mathematics. 1952. Vol. 10, no. 2. P. 157—165.
3. *Willam K.J.* Constitutive models for the triaxial behavior of concrete / K.J. Willam, E.P. Warnke // Proceedings of the International Assoc. for Bridge and Structural Engineering. 1975. Vol. 19. P. 1–30.
4. *Клованич С.Ф.* Модель прочности и деформаций бетона и грунта при сложном напряженном состоянии // Строительные конструкции: Межвед. науч.-техн. сб., вып. 59. Киев: НИИСК, 2003. С. 163-170.
5. *Griffith A.A.* The theory of rupture. Proc. Ict. Int. Congr. Appl. Mech. Delft, 1924. P. 55-63.
6. *Orowan E.* Fracture and strength of solids // Repts. Progn. Phis. 1948. 49, № 12. P. 185-232.
7. *Чернышов Е.М.* Повышение сопротивления ячеистого бетона хрупкому разрушению / Е.М. Чернышов, А.М. Крохин // Бетон и железобетон. 1979. № 5. С. 18-19. EDN TRLORV.
8. *Леонович С.Н.* Вязкость разрушения высокопрочного бетона после воздействия высокой температуры / С.Н. Леонович, Д.А. Литвиновский // Строительные материалы. 2017. № 11.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА IOSO

А.С. Красников, Ю.Г. Попов

Научный руководитель - **Ю.Г. Попов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Предлагается способ определения оптимальной формы одиночного дебаланса вибровозбудителя. Построена параметризованная модель дебаланса и выполнена многопараметрическая оптимизация с помощью алгоритма IOSO.

Ключевые слова: дебаланс, многопараметрическая оптимизация, параметризованная модель, вынуждающая сила

OPTIMIZATION OF VIBRATION EXCITER DESIGN USING THE IOSO ALGORITHM

A.S. Krasnikov, Y.G. Popov

Scientific Supervisor - **Y.G. Popov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

A method is proposed for determining the optimal shape of a single eccentric weight of a vibration exciter. A parameterized model of eccentric weight was built and multicriteria optimization was carried out using the IOSO algorithm.

Keywords: eccentric weight, multicriteria optimization, parameterized model, centrifugal force

В современной вибрационной технике наибольшее распространение получили дебалансные вибровозбудители. Такая конструкция имеет множество преимуществ: она достаточно проста, надежна и долговечна. Однако при включении вибрации требуются значительные пусковые моменты для раскручивания вала с дебалансом. Это, в свою очередь, приводит к избыточной мощности привода на установившихся режимах работы, что приводит к ухудшению энергетических показателей [1].

Уменьшение требуемого пускового момента позволит быстрее и эффективнее разогнать вибровозбудитель. Достигнуть этого можно путем минимизации массы дебаланса.

Одним из способов уменьшения массы является поиск оптимальной формы дебаланса при сохранении остальных параметров вибрации.

Таким образом, основной целью исследования является уменьшение пусковых моментов вибратора.

Объектом исследования является твердотельная модель дебаланса промышленного вибратора (рис. 1).

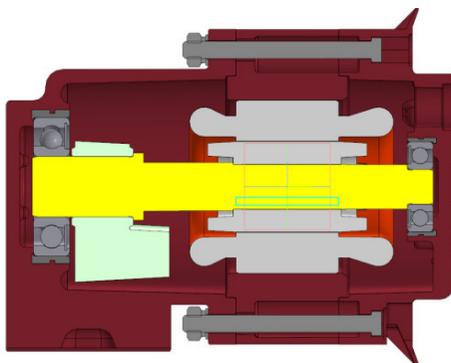


Рис. 1. Промышленный вибратор

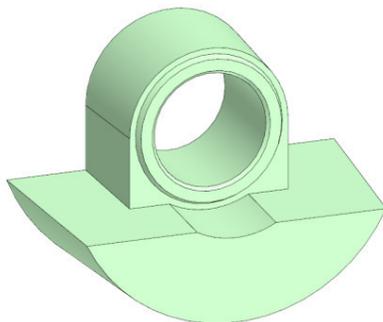


Рис. 2. Дебаланс промышленного вибратора

Для построения дебаланса (рис. 2) с заданными характеристиками должны быть решены две задачи:

Определение геометрических параметров дебаланса.

Итоговая конструкция должна обладать теми же характеристиками вибрации, что и прототип, но иметь более низкую массу. (Вынуждающая сила, создаваемая дебалансом прототипа $F = 3300$ Н; масса $m = 1275$ г.)

Вынуждающая сила дебаланса определяется выражением

$$F = m \cdot (2\pi f)^2 \cdot e, \quad (1)$$

где m – масса дебаланса, кг; f – частота вращения дебалансного вала, Гц; e – эксцентриситет, м.

Масса и эксцентриситет являются изменяющимися параметрами, зависящими от формы дебаланса. Требуется построить 3D-модель дебаланса с определенным набором геометрических параметров, варьируя которые можно получить необходимые значения вынуждающей силы при минимальной массе. Построение будет осуществляться в программе Компас-3D, позволяющей параметризовать модели и определять их массоцентровочные характеристики. Число параметров должно быть по возможности минимальным для упрощения задачи оптимизации.

2. Получение точных значений геометрических параметров дебаланса с требуемыми характеристиками вибрации.

Для определения геометрии дебаланса применен отечественный программный комплекс IOSO NM, позволяющий быстро решать многопараметрические оптимизационные задачи и напрямую управлять файлами моделей Компас-3D в процессе поиска решения [3].

Построение параметризированной модели (рис. 3).

Варьируемыми параметрами в модели дебаланса (рис. 3) являются радиус Rd , высота полки Hv , угловой параметр Ug , толщина $s1$ и толщина $s2$.

В совокупности эти параметры, а также наложенные в эскизах зависимости полностью определяют геометрические параметры 3D-модели дебаланса.

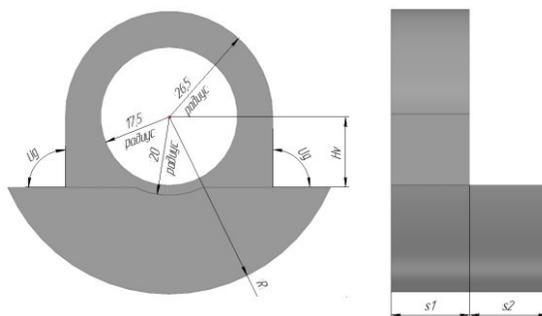


Рис. 3. Модель дебаланса с геометрическими параметрами

Создание проекта оптимизации IOSO NM.

Построенная в программе Компас-3D модель дебаланса добавлена к проекту оптимизации. Из модели дебаланса в среду IOSO NM передаются координата центра тяжести Zc и масса m . Так как ось вращения де-

баланса совпадает с началом координат, а дебаланс выполнен симметричным относительно вертикальной плоскости, то координата Zc фактически является также и эксцентриситетом (рис. 4).

Далее эти параметры используются для вычисления синтетического критерия оптимизации – вынуждающей силы дебаланса Fd :

$$Fd = m \cdot |Zc| \cdot \omega^2, H; \quad (2)$$

где ω – угловая скорость, $\omega = 314$ рад/с.

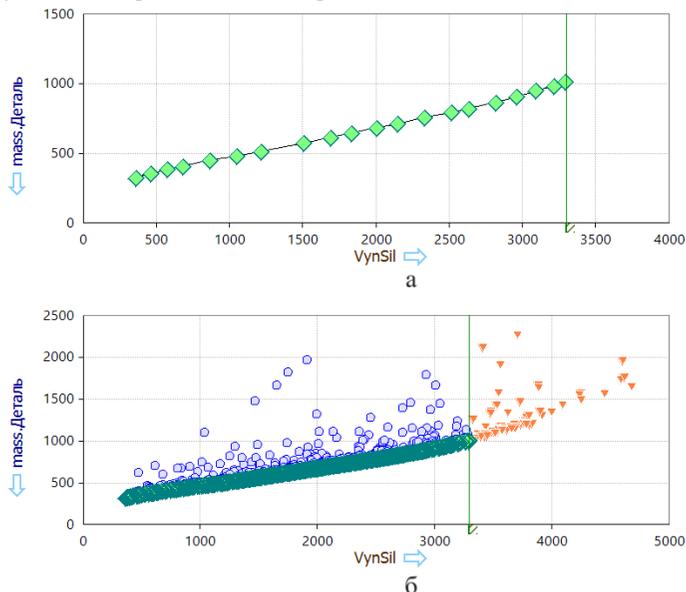


Рис. 4. Окна результатов в программном комплексе IOSO:

a – история поиска решения; *б* – точки в диапазоне Парето;
 mass – масса, г; VynSil – вынуждающая сила, Н

Таким образом, в программном комплексе IOSO NM установлены следующие критерии и ограничения выходных параметров:

- $(Fd \rightarrow \max) \leq 3300$; это ограничение, по которому вынуждающая сила дебаланса должна составлять 3,3 кН, как у прототипа;
- $m \rightarrow \min$; в качестве критерия оптимизации принята минимизация массы дебаланса;

Результаты. В ходе решения оптимизационной задачи получены следующие геометрические параметры дебаланса при минимальной массе и максимальной вынуждающей силе: $Hv = 30,66$ мм; $Rd = 60,00$ мм; $Ug = 92,16^\circ$; $s_1 = 20,03$ мм, $s_2 = 24,48$ мм (решение №2764).

Масса оптимизированного дебаланса составила $m = 1,014$ кг, что на 20,5% меньше, чем у прототипа ($m = 1,275$ кг). Алгоритм перебрал более 3000 комбинаций варьируемых параметров (рис. 5) с заданной точностью и нашел 20 точек в диапазоне Парето.

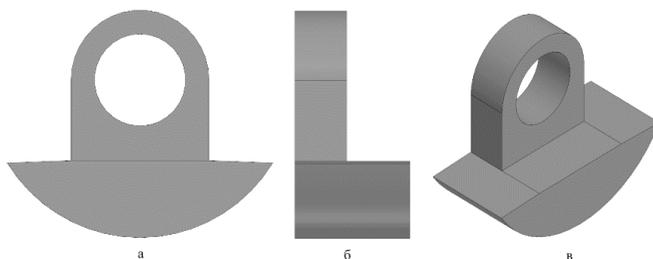


Рис. 5. Форма дебаланса, полученная в результате решения задачи оптимизации (решение №2764):

a – вид спереди; *б* – вид сбоку; *в* – изометрия

Выводы.

1. Построена параметризованная модель дебаланса с набором параметров, при изменении которых в широких пределах можно варьировать его геометрические параметры и вынуждающую силу.
2. Для параметризованной модели найдено решение оптимизационной задачи с получением итоговых геометрических параметров, удовлетворяющих условиям.
3. Технические особенности конструкции различных вибровозбудителей могут налагать дополнительные ограничения на форму дебаланса, но это легко учитывается в параметризованной модели. При этом сам принцип поиска оптимальной формы с помощью заданных критериев и ограничений оптимизации может применяться для любых вибровозбудителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриев В.Н.* Регулируемый вибровозбудитель для низкочастотных вибр машин большой мощности / В.Н. Дмитриев, А.А. Горбунов, И.И. Мавзютов // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2009. №2. С. 23-25.
2. *Tao-ping Y.* Vibration frequency vibratory roller stepless design and analysis of the hydraulic system // CECNet. 2011. P. 4621–4624.
3. *Egorov I.* The main features of IOSO technology usage for multi-objective design optimization / I. Egorov, G. Kretinin, I. Leshchenko // AIAA Papers. 2004. No. 2004–4610.

ВАЛИДАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ КОЗЛОВОГО КОНТЕЙНЕРНОГО КРАНА НА ТЕРМИНАЛЕ

А.С. Лизунов

Научный руководитель – **С.Д. Иванов**, канд. техн. наук

Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана

Работа посвящена верификации и валидации имитационной модели работы козлового контейнерного крана на контейнерном терминале. Рассматриваются способы верификации модели на основе моделирования реального склада и сравнения с данными в системе дистанционного мониторинга.

Ключевые слова: верификация, контейнерный кран, имитационное моделирование, контейнерный терминал, эксплуатационные параметры

VALIDATION AND VERIFICATION OF SIMULATION MODEL OF CONTAINER GANTRY CRANE OPERATION AT THE TERMINAL

A.S. Lizunov

Scientific Supervisor – **S.D. Ivanov**, Candidate of Technical Sciences

Bauman Moscow State Technical University

The work is devoted to verification and validation of the built simulation model of container gantry crane operation at the terminal. The methods of model verification based on real warehouse modeling and comparison with data in the remote monitoring system are considered.

Keywords: verification, gantry crane, simulation modeling, container terminal, operational parameters

Количество контейнерных перевозок в России постоянно растет. Поэтому актуальной задачей является повышение эффективности работы оборудования на существующих терминалах [1].

Целью работы является проверка построенной универсальной электронной имитационной модели работы козлового крана на контей-

нерном терминале для определения его параметров интенсивности эксплуатации.

При инициализации модели вводятся индивидуальные параметры контейнерного терминала, таких как: размеры площадки, вместимость площадки, заполненность терминала, места проезда железнодорожного и автотранспорта, расположение контейнеров и назначение рядам контейнеров определенных характеристик (типоразмер контейнера, направление дальнейшего следования или компания владелец, срочность дальнейшей отгрузки) [2, 3]. Варьируемыми параметрами модели являются характеристики козлового контейнерного крана, обслуживающего данную площадку, к которым относятся скорость передвижения крана, скорость передвижения тележки и скорость подъема. Жестко заданными параметрами модели являются размеры контейнеров.

Последовательность работы модели: 1) загружаются начальные состояния варьируемых параметров; 2) в соответствии с коэффициентом заполненности терминала в начальный момент времени равномерно распределяются контейнеры; 3) задаются запросы на разгрузку/загрузку ж/д состава / автотранспорта в зависимости от грузопотока на данной площадке; 4) отрабатываются запросы и рассчитываются эксплуатационные показатели крана: расстояния, пройденные механизмами в цикле и коэффициент распределения нагрузки для дальнейшего определения фактического режима нагружения. Результатом работы модели является информация, аналогичная данным системы дистанционного мониторинга (СДМ) (рис. 1).

Координата телеги на начало цикла, м	Координата крана на начало цикла, м	Координата подъема на начало цикла, м	Координата стрелы на начало цикла, град	Координата телеги на конец цикла, м	Координата крана на конец цикла, м	Координата подъема на конец цикла, м	Координата стрелы на конец цикла, град	Расстояние телеги за цикл, м	Расстояние хода крана за цикл, м	Расстояние подъема за цикл, м	Расстояние поворота за цикл, об	Средн. скорость телеги, м/мин	Средн. скорость хода крана, м/мин	Средн. скорость подъема, м/мин	Средняя скорость поворота за цикл, об/мин	Потребленная энергия, кВт·ч	Длительность цикла, с
22.27	64.76	2.36	0	36.18	133.4	3.53	0	15.75	68.65	18.99	0	20.54	58.01	19.31	0	0	132
39.73	140.06	3.65	0	4.04	95.67	3.46	0	35.69	44.59	17.77	0	37.57	49.54	18.71	2	0	120
4	95.64	3.55	0	39.78	114.05	3.48	0	35.74	18.4	17.79	0	28.22	28.31	18.4	0	0	119
27.84	70.82	4.92	0	36.12	147.49	3.6	0	10.9	77.11	16.12	0	15.21	57.12	17.91	0	0	140

Рис. 1. Пример вывода программы дистанционного мониторинга

В качестве объекта исследования принят реальный терминал компании ПАО «Трансконтейнер» (г. Пенза), краны (табл. 1) которого оборудованы СДМ «Балткран». Схема зоны складирования терминала представлена на рис. 2.

Таблица 1. Характеристики козлового крана

Пролет крана, м	Высота подъема, м	Вылет консолей, м	Скорость механизмов, м/мин		
			Подъем	Кран	Тележка
25	12,5	5 и 7	12	60	40

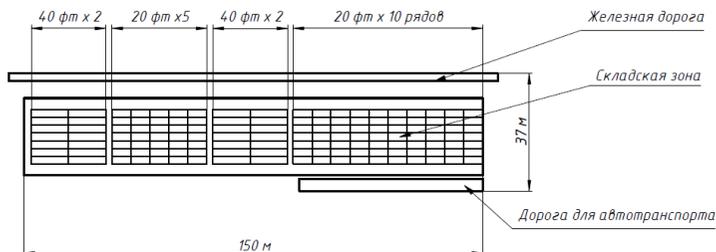


Рис. 2. Схема контейнерного терминала

После инициализации модели с параметрами (см. табл. 1 и рис. 2) была проведена ее валидация на корректность выходных данных. Приняты следующие критерии валидности: совпадение количества запросов и циклов работы крана, наличие для каждого цикла полных данных, отсутствие логических ошибок (пройденное расстояние в цикле больше допустимого, определяемого характеристиками крана и склада).

Первый этап верификации модели включал подготовку данных СДМ – фильтрацию заведомо некорректных циклов (16%): длительность более 10 мин, перемещение крана более 150 м; перемещение тележки более 37 м. Далее выявляли характерные циклы работы реального крана, соответствующие особенностям обслуживаемого технологического процесса, и фиксировали их наличие в данных модели.

Проведено статистическое сравнение распределений перемещений за цикл каждого механизма, полученных с помощью СДМ и модели. Для этого соответствующие выборки представили в виде вариационного ряда и сравнили по критерию Пирсона [4] по формуле (1). Результаты сравнения представлены в табл. 2.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \sim \chi^2(k - 3), \quad (1)$$

где n_i – частоты вариационного ряда по программе дистанционного мониторинга; np_i – частоты вариационного ряда по результатам программы; k – степени свободы вариационного ряда.

Таблица 2. Сравнение выборов

Параметр	Критерий согласия	Критическая точка	χ^2
Расстояние движения крана	0,95	18,31	12,59
Расстояние движения тележки	0,9	15,99	10,28
Расстояние движения механизма подъема	0,9	15,99	14,32

Данные табл. 2 указывают на то, что результаты имитационной модели распределены по тому же закону, что и данные СДМ. Следовательно, можем принять гипотезу о том, что модель отражает особенности работы реального крана в обслуживаемом им технологическом процессе с вероятностью не менее 0,9.

Таким образом, была проведена валидация и верификация разработанной имитационной модели методами статистики, что позволяет сделать вывод о пригодности модели для описания работы контейнерных площадок, обслуживаемых козловыми контейнерными кранами с целью расчета их эксплуатационных характеристик и оптимизации технологических процессов, выполняемых подъемно-транспортной техникой [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Объективная информация о работе подъемно-транспортных машин как основа повышения качества информационных систем грузообработывающих предприятий / Н.Ю. Иванова, С.Д. Иванов, С.А. Надеженков, А.Н. Назаров // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2023. № 2. С. 81-96.
2. Лизунов А.С. Разработка имитационной модели для размещения контейнеров на складе / А.С. Лизунов, С.Д. Иванов // Семьдесят шестая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. С. 435-438.
3. *Поспелов А.М.* Организация работы контейнерного терминала: учеб.-метод. рекомендации. Екатеринбург: УрГУПС, 2017. 54 с.
4. *Малугин В.А.* Теория вероятностей и математическая статистика: учебник и практикум для вузов. Москва: Изд-во Юрайт, 2023. 470 с.
5. Применение имитационной логистической модели складирования в целях повышения качества принятия управленческих решений на грузоперерабатывающем предприятии / Н.Ю. Иванова, А.Н. Назаров, А.Р. Луткин, Л.В. Завальная // Устойчивое развитие и новая индустриализация: наука, экономика, образование: Материалы конференции, Москва, 18 июня 2021 года. Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2021. С. 243-248.

ОЦЕНКА ИННОВАЦИЙ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МАШИН ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ

А.С. Лапин, Д.А. Малахов, Л.М. Шамахов

Научный руководитель – **Л.М. Шамахов**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

В работе рассматривается использование новых технологий и разработок в машинах для обслуживания и ремонта дорожного покрытия. Также проведен анализ инноваций, позволяющих рационально подходить к процессу содержания дорог, снизить затраты и повысить качество работ.

Ключевые слова: машины для содержания дорог, дорожное покрытие, конкуренция, инновации

EVALUATION OF INNOVATION AND COMPETITIVENESS ROAD MAINTENANCE MACHINES

A.S. Lapin, D.A. Malakhov, L.M. Shamakhov

Supervisor - **L.M. Shamakhov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

The paper will examine what new technologies and developments are used in machines to improve road surface maintenance and repair. It will also be studied how these innovations help to optimize road maintenance processes, reduce costs and improve the quality of work.

Keywords: road maintenance machines, road pavement, competition, innovation

Оценка инноваций и конкурентоспособности машин для содержания дорог является важной темой в современных условиях развития инфраструктуры. Поддержание дорожного покрытия в хорошем состоянии является одной из главных задач для государственных и муниципальных органов, а также частных компаний, занимающихся дорожным строительством и уходом за дорогами.

Современные технологии и инновации в области машин для содержания дорог позволяют повысить эффективность и качество выполнения работ по обслуживанию дорожного покрытия. Оценка инноваций

позволяет определить, какие машины являются наиболее конкурентоспособными и эффективными в решении поставленных задач. Поэтому, требуется провести анализ технических инноваций в области машин для содержания дорог и их влияние на повышение конкурентоспособности разработок в данной отрасли. Вместе с тем, нужно рассмотреть применение новых технологий и разработок в машинах для улучшения обслуживания и ремонта дорожного покрытия. Также определить, как эти инновации позволяют рационально подходить к процессу содержания дорог, снижать затраты и повышать качество работ.

Одним из важных аспектов оценки инноваций является анализ функциональности машин для содержания дорог. Современные машины оснащены различными инструментами и системами, которые позволяют выполнять такие работы, как очистка от снега, уборка мусора, ремонт дорожного покрытия, нанесения разметки и другие задачи. Оценка функциональности и надежности этих систем позволяет определить, насколько машины способны эффективно выполнять свои функции и поддерживать дорожное покрытие в хорошем состоянии.

Так, автор работы [1] утверждает, что дорожный комплекс является ключевым фактором для развития страны. Дорожное строительство должно активно внедрять инновации из всех сфер экономики и стимулировать развитие транспортного машиностроения, производства стройматериалов и оборудования за счет спроса на современные технологии, транспортные средства и материалы.

Одной из важнейших задач оценки инноваций является анализ экономической эффективности машин. Рассчитывается стоимость эксплуатации и обслуживания, энергоэффективность, продолжительность срока службы машин и другие экономические показатели. Это позволяет определить, какие машины являются наиболее выгодными с точки зрения затрат на их эксплуатацию и обслуживание в долгосрочной перспективе. Также важно учитывать экологические факторы оценки инноваций в машинах для содержания дорог. Современные машины стараются разработать более экологически безопасными, используя эффективные системы снижения выбросов и, тем самым, минимизировать воздействие на окружающую среду. При оценке конкурентоспособности машин также важно учитывать их соответствие экологическим стандартам и требованиям.

Автор работы [2], рассматривает проблемы модернизации автомобильно-дорожного комплекса и пути их решения. Вместе с тем, автор считает, что в современных условиях существенно меняется роль автомобильного транспорта как особого фактора, определяющего формирование траектории развития национальных экономик.

Оценка инноваций и конкурентоспособности машин для содержания дорог является сложной и важной задачей. Она должна учитывать

функциональность, экономическую эффективность, экологическую безопасность и потребности заказчиков. Только путем всесторонней оценки и анализа можно определить наиболее конкурентоспособные и эффективные машины, способные обеспечить качественное содержание дорог для более безопасного движения автотранспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Куницын А.И.* Инновационное развитие дорожного комплекса как ключевого фактора развития экономики Российской Федерации // Региональная и отраслевая экономика. 2021. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnoe-razvitiie-dorozhnogo-kompleksa-kak-klyuchevogo-faktora-razvitiya-ekonomiki-rossiyskoj-federatsii> (дата обращения: 19.12.2023)
2. *Кирничный В.Ю.* Приоритеты и механизм модернизации автомобильно-дорожного комплекса // Вестник СибАДИ. 2011. №22. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/priority-i-mehanizm-modernizatsii-avtomobilno-dorozhnogo-kompleksa> (дата обращения: 19.12.2023)

**РЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ
«РАМА-ВАЛЕЦ КАТКА-ГРУНТ»**

Д.А. Мамадризов, И.С. Тюремнов

Научный руководитель – **И.С. Тюремнов**, канд. тех. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье приведена трёхмассная реологическая модель взаимодействия с грунтом рабочего органа грунтового вибрационного катка, позволяющая исследовать характеристик колебаний в зависимости от свойств грунта и характеристик амортизаторов.

Ключевые слова: грунт, уплотнение, вибрация, каток вибрационный, модель математическая, коэффициент упругого сопротивления амортизаторов

**RHEOLOGICAL MODELING
OF THE «ROLLER-ROLLER-GROUND FRAME SYSTEM»**

D.A. Mamadrizoev, I.S. Tyuremnov

Scientific Supervisor – **I.S. Tyuremnov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article presents a three-mass rheological model of interaction with the soil of the working body of a ground vibration roller, which allows us to study the characteristics of vibrations depending on the properties of the soil and the characteristics of shock absorbers.

Keywords: soil, sealing, vibration, vibrating roller, mathematical model, coefficient of elastic resistance of shock absorbers

Процесс уплотнения – это наиболее распространённая технология повышения прочности, несущей способности и устойчивости к погодноклиматическим факторам. Наиболее распространённым средством для уплотнения грунтов в дорожном строительстве являются вибрационные катки.

Вибрационные катки работают в режимах колебаний, при которых относительное вынуждающее усилие (отношение вынуждающей силы к массе катка) больше критической относительной вынуждающей силы.

Это приводит к реализации режимов колебаний с периодическим отрывом рабочего органа от грунта, что существенно усложняет исследование процесса и разработку эффективных конструкций машин.

На характер колебания элементов вибрационных катка влияет масса вибрационного вальца - m_d , масса рамы вибрационного вальца - m_f , характеристики амортизаторов, частота колебания - f , вынуждающее усилие - P , характеристики грунтов (которые изменяются в процессе работы)

Для исследования влияния характеристик вибрационного катка и грунта на эффективность уплотнения и колебания узлов катка целесообразно использовать реологическое моделирование.

Одной из моделей, способных наиболее точно описать процесс уплотнения грунта вибрационным катком, является трехмассной реологическая модель.

Система уравнений для трехмассной реологической модели при контакте вибрационного вальца катка с уплотняемым грунтом (рис. 1) имеет следующий вид [1]:

$$\begin{cases} m_f \cdot \ddot{x}_f - b_f \cdot (\dot{x}_d - \dot{x}_f) - k_f \cdot (x_d - x_f) = m_f \cdot g; \\ (m_d + m_s) \cdot \ddot{x}_d + b_s \cdot \dot{x}_d + b_f \cdot (\dot{x}_d - \dot{x}_f) + k_s \cdot x_d + \\ + k_f \cdot (x_d - x_f) = (m_d + m_s) \cdot g + P \cdot \sin(\omega t); \\ \dot{x}_d = \dot{x}_s; \\ x_d = x_s, \end{cases} \quad (1)$$

Начальные условия: при $t = 0$ $\dot{x}_d = \dot{x}_s = 0$; $x_d = x_s = 0$,

где m_f - масса рамы вибрационного вальца, кг; m_d - масса вибрационного вальца, кг; m_s - масса присоединённого грунта, кг; \ddot{x}_f - ускорение рамы вибрационного вальца, м/с^2 ; \ddot{x}_d - ускорение вибрационного вальца, м/с^2 ; b_f - коэффициент вязкого сопротивления амортизаторов, соединяющих вибрационный валец и раму вибрационного вальца $\text{Н} \cdot \text{с/м}^2$; b_s - коэффициент вязкого сопротивления грунта, $\text{Н} \cdot \text{с/м}^2$; \dot{x}_f - вертикальная скорость перемещения рамы вибрационного вальца, м/с ; \dot{x}_d - вертикальная скорость перемещения вибрационного вальца, м/с ; \dot{x}_s - вертикальная скорость перемещения грунта, м/с ; k_f - коэффициент упругого сопротивления амортизаторов, соединяющих вибрационный валец и раму вальца, Н/м ; k_s - коэффициент упругого сопротивления грунта, Н/м ; x_f - вертикальная координата рамы вибрационного вальца, м ; x_d - вертикальная координата вибрационного вальца, м ; x_s - вертикальная координата грунта м ; g - ускорение свободного падения, м/с^2 ; P - вынуждающее усилие, кН ; ω - угловая скорость вибровозбудителя, рад/с .

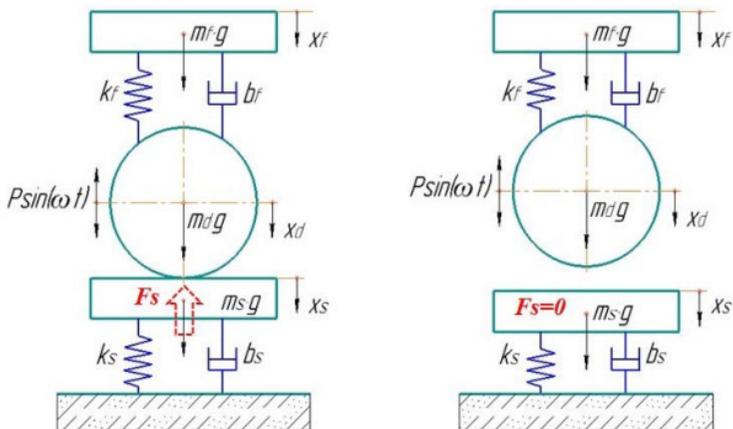


Рис. 1. Трёхмассная реологическая модель, описывающая режимы: отрыва вибрационного вальца от грунта (справа) и контакта вибрационного вальца с грунтом (слева) [1]

При отрыве вибрационного вальца от грунта:

$$\begin{cases} m_f \cdot \ddot{x}_f + k_f \cdot (x_d - x_f) + b_f \cdot (\dot{x}_d - \dot{x}_f) = m_f \cdot g; \\ m_d \cdot \ddot{x}_d - k_f \cdot (x_d - x_f) - b_f \cdot (\dot{x}_d - \dot{x}_f) = m_d \cdot g + \\ \quad + P \cdot \sin(\omega t); \\ m_s \cdot \ddot{x}_s + k_s \cdot x_s + b_s \cdot \dot{x}_s = m_s \cdot g. \end{cases} \quad (2)$$

Реакция грунта на валец:

$$F_s = m_s \cdot \ddot{x}_s + k_s \cdot x_s + b_s \cdot \dot{x}_s - m_s \cdot g. \quad (3)$$

Условие не прилипания грунта к вибрационному вальцу: $F_s > 0$.

Особенностью данной реологической модели является расчет значений коэффициента упругого сопротивления амортизаторов вибрационных катков с учетом заданного превышения рабочей частоты колебания над собственной.

Проведена верификация данной модели на вибрационных катках НАММ-3411, ДМ-614, ДМ-58 и ДМ-617, показавшая удовлетворительное соответствие.

Также был проведен вычислительный эксперимент по определению численных значений продолжительность нагружения (t_n), продолжительность разгрузки (t_p) и максимальную силу реакцию грунта (F_s^{\max}),

что позволило уточнить математическую модель уплотнения грунта вибрационными катками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тюремнов И.С.* К вопросу обоснования значения присоединённой массы грунта при реологическом моделировании процесса уплотнения грунта вибрационным катком / И.С. Тюремнов, А.С. Морев, Д.В. Фурманов // Проблемы машиноведения: материалы III Международной научно-технической конференции, Омск, 23–24 апреля 2019 года. Том Часть I. Омск: Омский государственный технический университет, 2019. С. 215-223. EDN MVJSLI.
2. *Тюремнов И.С.* Экспериментальные исследования по уплотнению грунта вибрационным катком НАММ 3411 / И.С. Тюремнов, А.С. Краюшкин, Д.А. Шорохов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2022. Т. 19, № 6(88). С. 828-840. DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-6-828-840. EDN QCIOYG.
3. *Тюремнов И.С.* Результаты экспериментальных исследований ускорений колебаний вибровальца катка DM-617 с использованием технологии цифровой обработки сигнала / И.С. Тюремнов, С.Н. Иванов, А.С. Краюшкин // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2020. Т. 17, № 2(72). С. 182-195. DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-2-182-195. EDN EEOYBV.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНТАЖА ПРОТИВОВЕСОВ АВТОКРАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕРХТЯЖЁЛОГО БЕТОНА

М.Д. Макаров¹, А.Л.Трофимов¹, А.Ю. Андреев²

Научный руководитель – **А.Ю. Андреев**, заместитель директора
КБПР, главный конструктор

¹Ивановский государственный политехнический университет
²АО «Галичский автокрановый завод»

В данной статье рассматривается разработка и замена противовесов автокрана, с применение сверхтяжелого бетона. Чтобы снизить стоимость автокрана, было решено кардинально изменить систему монтажа и основную составляющую часть противовесов (металл).

Ключевые слова: сверхтяжёлый бетон, противовес, система монтажа

DEVELOPMENT OF A CRANE COUNTERWEIGHT MOUNTING SYSTEM USING SUPERHEAVY CONCRETE

M.D. Makarov¹, A.L. Trofimov¹, A.U Andreev²

Scientific Supervisor – **A.U Andreev**, Deputy Director of KBPR,
Chief Designer

¹Ivanovo State Polytechnic University
²JSC «Galich Truck Crane Plant»

This article discusses the development and replacement of crane counterweights, with the use of superheavy concrete. In order to reduce the cost of the crane, it was decided to radically change the installation system and the main component of the counterweights (metal).

Keywords: superheavy concrete, counterweight, mounting system

Из-за ситуации в мире и значительного роста цен на сталь, было решено изменить конструкцию противовесов.

Первой и основной причиной было недостаточное место для их размещения.

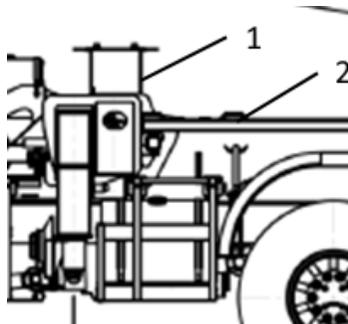


Рис. 1. Подъемный стол:

1 – подъемный стол, 2 – нижняя рама.

Противовесы закреплялись на подъемном столе 1, подъемный стол соответственно закреплялся на нижней раме 2

Для увеличения монтажного пространства для размещения противовесов было принято решение исключить подъемный стол из конструкции автокрана.

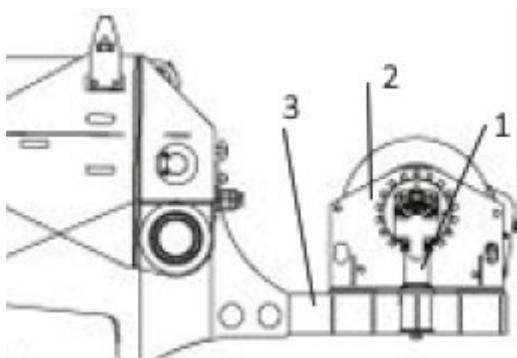


Рис. 2. Поворотная рама:

1 – гидроцилиндр; 2 – лебедка; 3 – поворотная рама.

После удаления подъемного стола механизм подъема противовесов было решено переместить с нижней рамы на поворотную раму

В настоящее время противовесы автокранов наполняются металлом, себестоимость изготовления противовесов в последние годы значительно выросли.

Одним из предложений было заменить металл на «отходы» с производства. Из-за недостаточной плотности отходов габариты противовесов выходили за габариты допустимых для передвижения транспортных средств по дорогам общего пользования согласно ТР ТС 018/2011.

Для снижения себестоимости было решено наполнять противовесы «сверхтяжелым бетоном».

«Сверхтяжелый» бетон — это смесь бетона, воды и металлической стружки. По плотности такая смесь уступает плотности стали, но главное свойство бетона, заполнять любые объемы и формы.

Данное решение позволит уменьшить затраты на производство противовесов, сделает более безопасным монтаж противовесов, выполняющихся одним человеком, что приведет к снижению себестоимости изготовления автокрана и уменьшит эксплуатационные затраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гохберг М.М.* Справочник по кранам: В 2 т. Т.1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчётов кранов, их приводов и металлических конструкций / В.И. Брауде, М.М. Гохберга; под общ. ред. М.М. Гохберга. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. 536 с.
2. *Гохберг М.М.* Справочник по кранам: В 2 т. Т.2. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчётов кранов, их приводов и металлических конструкций / В.И. Брауде, М.М. Гохберга; под общ. ред. М.М. Гохберга. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. 559 с.
3. *Баженов Ю.М.* Технология бетона: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1987. 415 с.

УДК 621.879

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СОРТИРОВОЧНОГО КОВША ЭКСКАВАТОРА

В.В. Минин^{1,2}, Г.А. Кузнецов¹, К.Н. Бутрим¹, Р.М. Сайботалов¹

Научный руководитель – **В.В. Минин^{1,2}**, д-р техн. наук, профессор

¹Сибирский федеральный университет

²Российская инженерная академия

По результатам оптимизации основных конструктивных параметров сортировочного ковша экскаватора определена его эффективность на основе разработанного авторами аддитивного критерия. Сокращение времени цикла достигается путем совмещения операций грохочения и транспортирования материалов. Оценена точность результатов расчётов.

Ключевые слова: экскаватор, сортировочный ковш, оптимизация, аддитивный критерий, погрешность

ESTIMATION OF THE ERROR IN OPTIMIZING THE PARAMETERS OF THE EXCAVATOR SORTING BUCKET

V.V. Minin^{1,2}, G.A. Kuznetsov¹, K.N. Butrim¹, R.M. Saibatalov¹

Scientific Supervisor – **V.V. Minin^{1,2}**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

¹Siberian federal university

²Russian's academy of engineering

Based on the results of optimization of the main design parameters of the excavator sorting bucket, its efficiency was determined based on the additive criterion developed by the authors. Reduced cycle times are achieved by combining screening and material handling operations. The accuracy of the calculation results was assessed.

Keywords: excavator, sorting bucket, optimization, additive criterion, error

Основными задачами исследования являются увеличение эффективности сортировочных ковшей [1] для экскаваторов (рис. 1), а также расширение их функциональности и снижение себестоимости производимых материалов. Путем анализа научных публикаций, патентов и ин-

формационных ресурсов в интернете были выявлены основные возможные направления для улучшения конструктивной схемы сортировочного ковша.



a

б

Рис. 1. Сортировочные ковши [2]:

a - компании HARTL [1]; *б* – 3D конструкция авторов

Анализ размерностей конструктивных и эксплуатационных параметров, входящих в целевую функцию (критерий) оценки степени совершенства, позволяет определить структуру модели в виде зависимости между безразмерными комбинациями, составленными из этих параметров [3]. Авторами разработан комплексный аддитивный критерий взаимосвязи основных конструктивных, энергетических и эксплуатационных параметров, который позволяет свести многокритериальную задачу к однокритериальной за счет введения обобщенного показателя вместо ряда частных критериев. Аддитивный критерий оптимизации сформирован в виде

$$\Phi_N = \frac{QH}{N} + \frac{Z}{QG} \cdot \sqrt[3]{\frac{NG^2}{H^2}}, \quad (1)$$

где Q – теоретическая производительность машины; N – установочная мощность двигателя; G – масса (сила тяжести) машины; H – плечо работы оборудования; Z – грузоподъемность (грузоподъемная сила).

Для определения минимального значения использована авторская методика оптимизации [4].

Условие оптимизации при составлении математической модели имеют ограничения и допущения, которые записываются в виде

$$\Phi_N \rightarrow \min, \text{ при } : Q \rightarrow \max; N \rightarrow \min; G - \text{const}; H - \text{const}; Z - \text{const}.$$

Производительность ковша при грохочении определялась по известной формуле:

$$Q = F \cdot m \cdot q \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (2)$$

где F - площадь просеивающей поверхности, м^2 ; Q - производительность грохота, $\text{м}^3/\text{с}$; m - коэффициент, зависящий от формы зерен щебня и угла установки сита; q - удельная производительность 1 м^2 сита, $\text{м}^3/\text{с}$; K_1 - коэффициент, учитывающий процентное содержание зерен нижнего класса; K_2 - коэффициент, учитывающий процентное содержание зерен с размером 0,5 от диаметра отверстий в сите в нижнем классе.

В рамках исследования были изучены значения конструктивных параметров четырех конструкций сортировочных ковшей следующих фирм-производителей стран Австрии [1] и Италии [5] (модели: HSB 800, HSB 2000, BVR 07, BVR 12e).

На основе апостериорных данных были построены зависимости аддитивного критерия оптимизации, которые представлены на рис. 2.

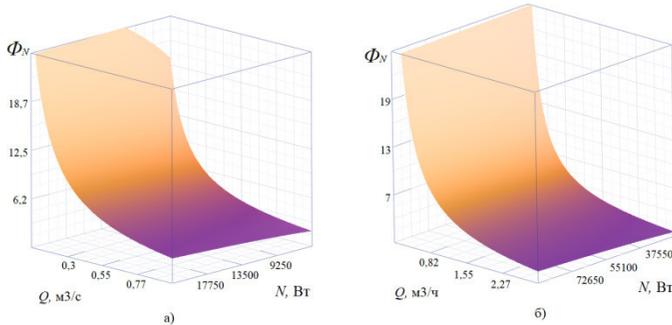


Рис. 2. Зависимость аддитивного критерия Φ_N от установочной мощности двигателя N и теоретической производительности Q для моделей сортировочных ковшей: а – BVR 07, б – BVR 12e

Здесь (см. рис. 2), следует отметить, что значение критерия оптимизации снижается с ростом производительности и увеличением установочной мощности двигателя. Так, при значении $\Phi_N = 18$ производительность $Q = 0,3$ и мощность $N = 18$ кВт. При $\Phi_N = 5$, $Q = 0,8$ и $N = 9,5$ кВт. Очевидно, что оптимальное значение установочной мощности – 10 кВт. Выбор двигателя по значению установочной мощности с другими значениями приводит к перерасходу энергоресурсов, при эксплуатации сортировочного ковша принятого типа размера и конструкции. Аналогичную картину изменения значения критерия оптимизации $\Phi_N = 19$ производительность $Q = 0,82$ и мощность $N = 27$ кВт. При $\Phi_N = 6$,

$Q = 9$ и $N = 222$ кВт. Очевидно, что оптимальное значение установочной мощности – 30 кВт.

Здесь ставится задача определения допустимых значений погрешностей параметров и нахождения сочетаний погрешностей основных параметров на координаты оптимума критерия, т. е. с какой точностью достаточно определить значения исходных данных для минимизации погрешности самого критерия (свойство робастности).

Выводы.

Новое техническое решение компоновки сортировочного ковша экскаватора обеспечивает повышение эффективности за счет снижения энергозатрат при выполнении операции грохочения и транспортировании материалов. По результатам исследований в среде программирования MathCAD оценено влияние погрешности в определении основных конструктивных параметров машины на результаты оптимизации по комплексному аддитивному критерию, что позволяет определить необходимую точность в оценке эффективности работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ООО «ЭКОПРОМ»: Сайт компании. URL: <http://ep-recycling.com/hartl-bucket-screen-hbs800> (дата обращения 05.02.2024)
2. Минин В.В. Оптимизация параметров сортировочного ковша экскаватора / В.В. Минин, В.А. Дмитриев, К.Н. Бутрим // Механика XXI века. 2023. № 22. С. 70-75. EDN NOLKKJ.
3. Минин В.В. Оптимизация параметров экскаватора с гидромолотом / В.В. Минин, В.А. Дмитриев, Р.М. Сайботалов // Высокие технологии в строительном комплексе. 2023. № 1. С. 85-89. EDN LPFGDF.
4. Минин В.В. Методология инновационного проектирования наземных транспортно-технологических комплексов : учеб. пособие // В.В. Минин, Г.С. Гришко, В.Ю. Клешнин; под общ. ред. В. В. Минина. Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2021. 108 с.
5. TreviBenne. Интернет магазин. URL:<https://www.trevibenne.it/> (дата обращения 05.02.2024)

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА АВТОМОБИЛЬНОГО КРАНА КС-55713-5

Н.Р. Потехин¹, А.Л. Трофимов¹, Д.В. Беспалов²

Научный руководитель - **Д.В. Беспалов**, заместитель директора
КБПР, главный конструктор

¹Ивановский государственный политехнический университет
²АО «Галичский автокрановый завод»

Рассматривается замена устаревшего механизма подъема с цилиндрическим редуктором 1Ц2У на более новый и современный планетарный редуктор и уменьшение кратности грузового полиспаста для подъема максимального груза с восьми до шести для увеличения скорости подъема-опускания груза.

Ключевые слова: механизм подъема, лебедка, планетарный модуль, полиспаст

MODERNIZATION OF THE LIFTING MECHANISM OF THE KS-55713-5 AUTOMOBILE CRANE

N.R. Potekhin¹, A.L. Trofimov¹, D.V. Bepalov²

Scientific Supervisor - **D.V. Bepalov**, Deputy Director of KBPR,
Chief Designer

¹Ivanovo State Polytechnic University
²JSC "Galich Truck Crane Plant"

The replacement of the outdated 1C2U lifting mechanism with a newer and more modern planetary gearbox is being considered. As a result, many parameters of the lifting mechanism are improved.

Keywords: lifting mechanism, winch, planetary module, polispast

Из-за частых поломок цилиндрического редуктора 1Ц2У (рис. 1) было решено заменить его современным планетарным редуктором (рис. 2), который имеет ряд преимуществ:

- меньшие габариты всей лебедки;
- большие передаточные числа;

- встроенный дисковый тормоз, не требующий регулировки в процессе эксплуатации;
- большая долговечность;
- большая надежность;
- простота монтажа.

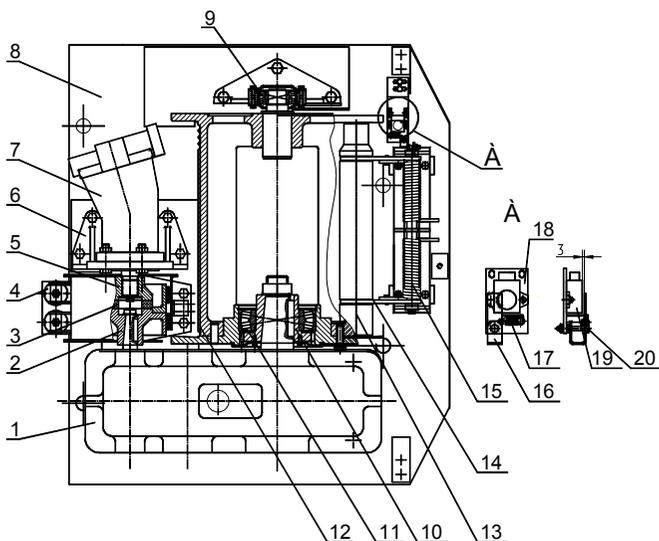


Рис. 1. Цилиндрический редуктор:

- 1 – редуктор; 2 – тормозной шкив; 3 – звездочка; 4 – тормоз ленточный;
 5 – полумуфта; 6, 14 и 18 – кронштейн; 7 – гидромотор; 8 – плита;
 9, 11 – подшипники; 10 – полумуфта; 12 – барабан; 13 – прижимной ролик;
 15 и 17 – пружина; 16 – флажок; 19 – бесконтактный выключатель;
 20 – регулировочный болт

Применение цилиндрического редуктора на базовом кране делает всю конструкцию грузоподъемного механизма более габаритной, требующей установки дополнительных узлов, таких как тормоз, зубчатая полумуфта (служащая для соединения выходного вала редуктора и барабана), а также тормозной муфты (связывающую входной вал редуктора с валом гидромотора). Тормоз на базовом кране был установлен ленточный, что требует защиты от влаги и осадков, также ленточный тормоз прихотлив в эксплуатации и требует регулировки. Применение современного, планетарного редуктора делает конструкцию лебедки гораздо более простой, не требующей установки муфт и ленточного тормоза, что упрощает сборку и эксплуатацию такой лебедки. Планетарный редуктор

имеет встроенный дисковый тормоз, не требующий регулировки и дополнительного технического обслуживания.

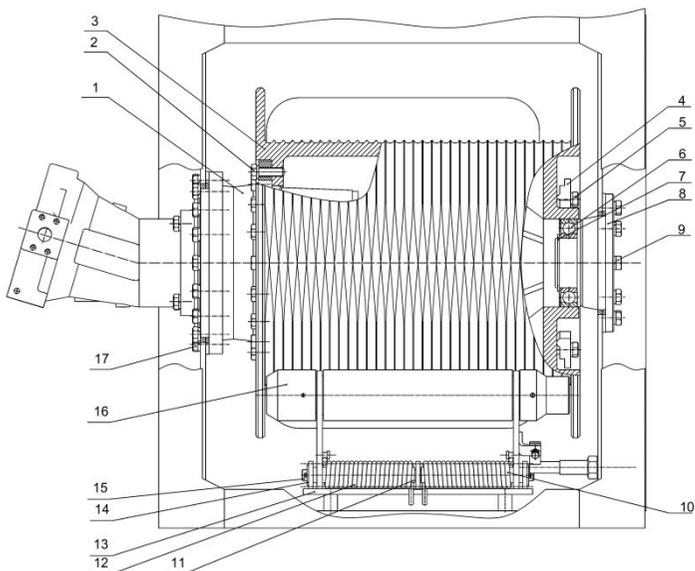


Рис. 2. Планетарный редуктор:

- 1 - модуль планетарный; 2, 5, 9, 17, 24, 25, 27 - болты; 3 - барабан; 4 - планка;
6 - подшипник; 7 - кольцо; 8 - опора; 10, 12, 33 - пружины; 11 - проставка;
13 - кронштейн; 14 - шайба; 15 - ось; 16 - прижимной ролик

Благодаря применению планетарной лебедки появилась возможность уменьшить кратность грузового полиспаста с восьми до шести, что приведет к увеличению тягового усилия грузового каната.

Усилие грузового каната S , Н, определяем по формуле

$$S = \frac{Q}{m_n \cdot \eta_n},$$

где Q – вес поднимаемого груза; m_n – кратность полиспаста; η_n – КПД полиспаста.

$$S = \frac{250000}{6 \cdot 0,95} = 43\ 859 \text{ Н.}$$

Определим крутящий момент на барабане M_b , Н·м, по формуле

$$M_{\sigma} = S * R,$$

где R – плечо восприятия нагрузки, м, $R = 0,25$ м.

$$M_{\sigma} = 43859 * 0,25 = 10\ 965 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Определим минимальное разрывное усилие каната F_0 , Н, по формуле

$$F_0 \geq Z_p * S,$$

где Z_p – минимальный коэффициент использования каната, $Z_p = 3,55$.

$$F_0 \geq 3,55 * 43\ 859 = 155\ 700 \text{ Н}.$$

Скорость подъема-опускания груза увеличилась с 5 до 6 м/мин, тем самым повысив привлекательность конечного продукта – автокрана.

Кроме того, с уменьшением кратности грузового полиспаста при длине стрелы автокрана 21,7 м позволило уменьшить длину грузового канат со 180 до 160 м, снизив стоимость машинокомплекта автокрана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 22-145-85. Краны стреловые самоходные. Нормы расчета устойчивости против опрокидывания. 1985. 94 с.
2. *Гохберг М.М.* Справочник по кранам: В 2 т. Т.1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчётов кранов, их приводов и металлических конструкций / В.И. Брауде, М.М. Гохберга; под общ. ред. М.М. Гохберга. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. 536 с.
3. *Гохберг М.М.* Справочник по кранам: В 2 т. Т.2. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчётов кранов, их приводов и металлических конструкций / В.И. Брауде, М.М. Гохберга; под общ. ред. М.М. Гохберга. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. 559 с.

**К ВОПРОСУ О ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОМ ДОРОЖНОМ
КАТКЕ С РАБОЧИМ ОРГАНОМ, ИЗМЕНЯЮЩИМ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЁСТКОСТИ**

**Б.А. Раздобарин, А.А. Юрченко, Р.Е. Литовченко,
С.В. Савельев**

Научный руководитель – **С. В. Савельев**, д-р техн. наук, доцент,
профессор

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет

Статья посвящена исследованию процесса уплотнения, для обеспечения прочности и устойчивости технологических слоев автомобильных дорог и роли дорожных катков в процессе уплотнения дорожно-строительных материалов. Рассматриваются различные типы уплотняющих машин. Предложена новая конструкция рабочего органа, совмещающая в себе преимущества вибрационных и пневмошинных дорожных катков.

Ключевые слова: уплотняемый материал, рабочий орган, каток, пневматическая шина

**ON THE ISSUE OF AN ENERGY EFFICIENT ROAD ROLLER
WITH A WORKING BODY, CHANGING THE STIFFNESS
CHARACTERISTICS**

**B.A. Razdobarin, A.A. Yurchenko, R.E. Litovchenko,
S.V. Saveliev**

Scientific Supervisor – **S.V. Saveliev**, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor, Professor

Siberian State Automobile and Road University

The article is devoted to the study of the compaction process to ensure the strength and stability of technological layers of highways and the role of road rollers in the process of compaction of road building materials. Various types of compaction machines are considered. A new design of the working body has been proposed, combining the advantages of vibratory and pneumatic tire road rollers.

Keywords: sealing material, working body, roller, pneumatic tire

Обеспечение прочности и устойчивости технологических слоёв автомобильных дорог, обеспечивается операцией уплотнения дорожно-строительных материалов [1]. Основные машины, выполняющие опера-

цию уплотнение – это дорожные катки. В настоящее время, как отечественные, так и зарубежные производители предлагают широкую номенклатуру уплотняющей техники [2, 3]. Современные катки имеют достаточно типовые конструкции, несмотря на большое разнообразие моделей и различные виды воздействия на обрабатываемый материал.

В последнее время, принципиально новые конструкторские решения для дорожных катков применяются достаточно редко. В основном совершенствование дорожных катков происходит по направлению развития бортовых автоматизированных и микропроцессорных интеллектуальных систем [4, 5].

Это логичное направление развития уплотняющей техники, соответствующее возможностям мировых тенденций развития компьютерных технологий.

Однако, как раньше, так и сейчас главным условием эффективного протекания процесса уплотнения дорожных материалов, является зависимость [6]:

$$\sigma_m(t) < \sigma_k(t) \leq [\sigma_{np}(t)], \quad (1)$$

где $\sigma_k(t)$ – контактные давления, МПа; $\sigma_k(t)$ - предел текучести уплотняемого материала, МПа; $\sigma_{np}(t)$ – предел прочности уплотняемого материала, МПа.

Частично реализовывать вышеуказанное условие способны катки на пневматических шинах [7]. В качестве рабочего органа у них используется пневмошинный валец с регулируемым давлением воздуха. Изменение давления воздуха в шинах приводит к их деформации, что влечёт за собой возможность регулирования контактных давлений на уплотняемый материал. Пневмокотки обладают значительным временем воздействия на уплотняемый материал.

Главным недостатком пневмошинных катков, по сравнению с катками с металлическими вальцами, является невысокая жёсткость шин. Это ограничивает применение на них вибрации, т. к. пневмошины являются демпфером и не дают эффективно использовать энергию вибровозбудителя при деформировании уплотняемого материала [4].

В работе предлагается повысить эффективность вибрационного уплотнения дорожно-строительных материалов пневмошинными катками за счёт разработки и внедрения перспективной системы регулирования жёсткости вальца.

Указанный результат достигается тем, что на вальце дорожного катка (рис. 1), состоящем из пневматических шин, на каждую шину устанавливаются металлические торцевые диски, которые могут «сжимать-разжимать» пневмошины и служат «каркасом», регулирующим жёсткость вальца в процессе уплотнения.

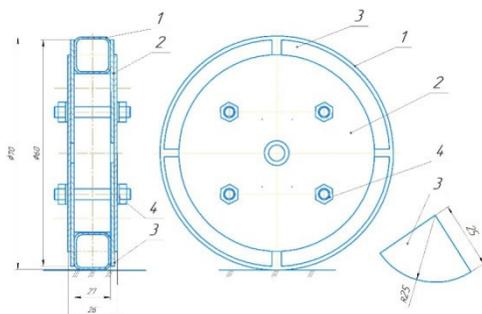


Рис. 1. Конструкция пневмошинного рабочего органа дорожного катка с изменяемой жёсткостью:

- 1 – пневматическая шина с диском; 2 – зажимной плоский диск (металл);
3 – сектор зажимной регулирующий (металл); 4 – болт стягивающий

Работа системы регулирования жесткости пневмокатка осуществляется следующим образом:

- на первых этапах процесса уплотнения шины не зажаты между металлическими дисками и валец работает в режиме серийного пневмошинного катка, при котором регулирование контактных давлений осуществляется изменением давления воздуха внутри шин.

- на заключительном этапе, когда уплотняемый материал набрал определённую прочность и для его дальнейшего уплотнения необходимо создавать высокие контактные давления, металлические диски «сжимают» шины. Набор шин и диски, объединяются в единый жёсткий валец, что обеспечивает высокие контактные давления и эффективное использование вибрации в конце укатки.

Сама система регулирования жёсткости представлена на рис. 2. Создан экспериментальный образец рабочего органа с системой регулирования жёсткости (рис. 3).

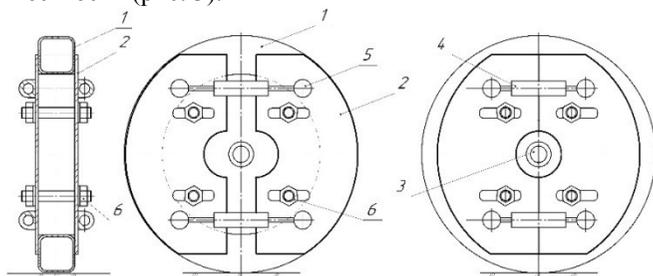


Рис. 2. Система регулирования жёсткости:

- 1 – пневматическая шина; 2 – зажимной полудиск (металл); 3 – ось;
4 – «сжимающее-разжимающее» устройство; 5 – шарнир; 6 – стягивающая шпилька



Рис. 3. Экспериментальный образец пневмошинного рабочего органа дорожного катка с изменяемой жёсткостью

Применение новой конструкции рабочего органа дорожного катка, позволит существенно повысить эффективность процесса уплотнения дорожно-строительных материалов. А значит, повысит производительность и снизит себестоимость строительства автомобильных дорог.

Исследования проводятся при поддержке Российского научного фонда и Правительства Омской области в рамках темы № 23-29-10010 «Разработка дорожных катков для повышения эффективности транспортного строительства с учетом региональных условий Омской области».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пермяков В.Б. Комплексная механизация строительства: учебник для строительных и автомобильно-дорожных институтов. М.: Высшая школа, 2004. 540 с.
2. САКАИ тяжелая промышленность, ООО: официальный сайт. Токио. URL: https://www.sakainet.co.jp/en/products/asphalt_roller/gw750.html (дата обращения 20.02.2023)
3. Довгяло В.А. Дорожно-строительные машины: Учебник / В.А. Довгяло, Д.И. Бочкарёв. Гомель, 2021. 342 с.
4. Костельов М.П. «Умные» виброкатки для дорожников // Дорожная техника: каталог-справочник. СПб.: Славутич, 2006. С. 30–62.
5. Определение параметров и режимов уплотнения дорожных катков: учебное пособие / Г.В. Кустарев [и др.]; под общ. ред. Г.В. Кустарева. М.: МАДИ, 2022. 142 с.

К ВОПРОСАМ О РАЗРАБОТКЕ РАМЫ ДЛЯ НАВЕСНОЙ ДОРОЖНОЙ ФРЕЗЫ

И.В. Ромашкин, А.Д. Федоров, Н.Э. Лысаков

Научный руководитель - **Н.Э. Лысаков**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

В данной статье рассмотрены существующие конструктивные решения навесных дорожных фрез для удаления асфальтобетонных покрытий, представлен концепт разработанной конструкции и сделаны выводы на основе рассуждений.

***Ключевые слова:** фреза дорожная, асфальтобетон, угол резания, сила сопротивления резанию, измерительный комплекс*

QUESTIONS ABOUT THE DEVELOPMENT OF A FRAME FOR A MOUNTED ROAD MILLING CUTTER

I.V. Romashkin, A.D. Fedorov, N.E. Lysakov

Scientific Supervisor - **N.E. Lysakov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

This article examines the existing design solutions of mounted road cutters for removing asphalt concrete pavements, presents the concept of the developed design and draws conclusions based on reasoning.

***Keywords:** road milling cutter, asphalt concrete, cutting angle, cutting resistance force, measuring complex*

С наступлением весны качество дорожного покрытия теряет свое первоначальное состояние, это может быть связано как с перепадами температур окружающей среды, так и с неправильным процессом укладки дорожного покрытия. Поэтому для ремонта верхних слоев дорожного покрытия используются навесные дорожные фрезы [1].

При разработке любого оборудования необходимо определять нагрузки, возникающие в процессе работы. Анализ рынка привел нас к выводу мы, что на данный момент производители предлагают слишком малое количество навесных дорожных фрез, поэтому возникает задача в разработке не только основного оборудования, но и универсальной рамы,

которая имела бы возможность устанавливать дорожные фрезы разных производителей, тем самым уменьшить капитальные вложения для заинтересованных предприятий.

Для решения данной задачи необходимо изучить процессы резания материалов, так как это имеет большое значение для повышения эффективности и качества работы дорожных машин. Новые технологии [2] и материалы требуют постоянного совершенствования оборудования, чтобы обеспечить высокую производительность и долговечность дорожных покрытий.

Инженеры и специалисты в области строительства дорог должны постоянно отслеживать новейшие разработки в области резания материалов, чтобы применять их в проектировании и производстве дорожной техники. Только так можно обеспечить высокий уровень безопасности и комфорта для пользователей дорог. Постоянное изучение процессов резания материалов также позволяет сокращать затраты на обслуживание и ремонт дорожной техники, повышать эффективность и экономичность производства. Таким образом, инвестирование в исследования в данной области сегодня может принести результаты в будущем.

Для определения нагрузок, возникающих на рабочем оборудовании, в работе [3] автор разработал экспериментальные стенды для проведения экспериментальных исследований и определил численное значение нагрузок, возникающих в процессе фрезерования асфальтобетонных покрытий.

Чижев В.С. в своей работе [4] разработал математическую модель процесса фрезерования асфальтобетона и получил уравнение для нахождения крутящего момента фрезерного оборудования, полученные зависимости не только способствуют определению количества режущих элементов на барабане, но и выявить рациональные способы их размещения, для уменьшения динамических нагрузок.

Проанализировав существующие исследования, нами был разработан прототип навесной дорожной фрезы (рис. 1). Для определения ориентировочной массы был использован программный комплекс Компас 3D V21, исходя из полученных значений был проведен прочностной расчет разработанной конструкции в программном комплексе АПМ (рис. 2).

Для получения более реальных результатов был взят случай, когда вся масса базовой машины, порядка 8000 тонн, действует на раму оборудования. Полученный анализ показал, что рама выдержит приложенную нагрузку.

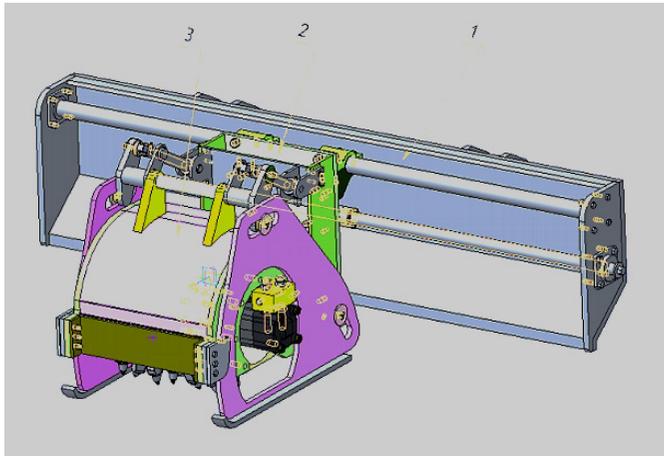


Рис. 1. Концепт рамы навесной дорожной фрезы:
1 – рама; 2 – переходная плита; 3 – навесная фреза

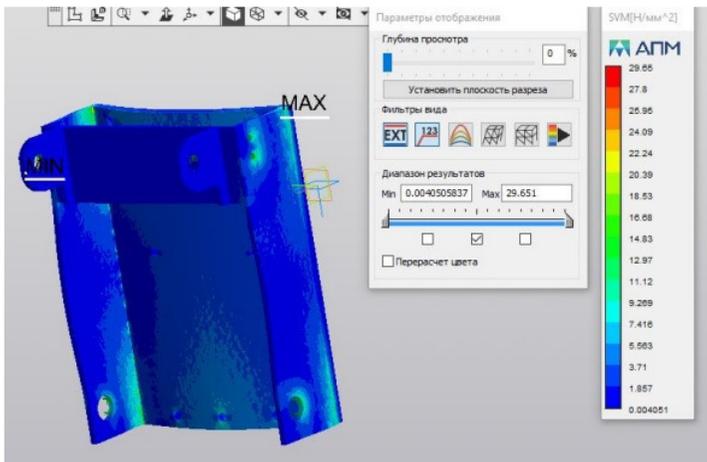


Рис. 2. Анализ напряжений в раме

Таким образом, разработанное оборудование с учетом дальнейших исследований сможет в полном объеме конкурировать, не только с отечественными аналогами, но и с ушедшими импортными производителями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Павлов Г.И.* Техника для ремонта и содержания улично-дорожной сети и автомобильных дорог / Г.И. Павлов, Р.Г. Губаев // Техника и технология транспорта. 2017. № 3(4). С. 10. EDN ZIDZNZ.
2. *Альаддесс М.Х.* Инновационные технологии ямочного ремонта с применением холодной асфальтобетонной смеси и эмульсий // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2014. № 3(16). С. 38-43. EDN TDXEЕВ.
3. *Фурманов Д.В.* Сравнительный анализ экспериментальных методов оценки сопротивляемости фрезерованию дорожных асфальтобетонов // Механизация и автоматизация строительства: сборник статей / Самарский государственный технический университет. Самара: Самарский государственный технический университет, 2020. С. 36-41. EDN НТWYPN.
4. *Чижов В.С.* Математическая модель процесса фрезерования асфальтобетона / В.С. Чижов, Д.В. Фурманов // Семьдесят вторая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: сборник материалов конференции, Ярославль, 24 апреля 2019 года / Ярославский государственный технический университет. Том 1. Ярославль: Ярославский государственный технический университет, 2019. С. 634-639. EDN PIZXIT.

ТРАНШЕЙНАЯ МАШИНА ДЛЯ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

А.В. Рогозкин¹, А.Л. Трофимов¹, А.А. Байданов²

Научный руководитель – **А.А. Байданов**, ведущий конструктор

¹Ивановский государственный политехнический университет
²АО «Галичский автокрановый завод»

Рассматривается модернизация траншейной машины с целью применения в народном хозяйстве, в части приведения геометрических размеров траншеи к стандартам нормативных документов, регулирующих прокладку коммуникаций.

Ключевые слова: траншеекопатель, коммуникация, грунт, модернизация

TRENCH MACHINE FOR GENERAL INDUSTRIAL NAME

A.V. Rogozkin¹, A.L. Trofimov¹, A.A. Baidanov²

Scientific Supervisor – **A.A. Baidanov**, Lead Designer

¹Ivanovo State Polytechnic University
²АО «Galich Crane Plant»

The modernization of the trench machines is being considered in order to be used in the national economy, in terms of bringing the geometric dimensions of the trench to the standards of regulatory documents regulating the laying of communication.

Keywords: trench digger, communications, soil, modernization

На данный момент идёт крупное развитие строительства, а именно газификация и прокладка коммуникативных линий. Коммуникации прокладывают в земле, а именно в траншеях вырытыми специальными машинами – траншеекопателями. Для прокладки указанных коммуникаций на требуемую глубину необходимо модернизировать ПЗМ-2М военного назначения, с целью использования в народном хозяйстве и строительстве, для выполнения выше указанных задач.

Полковая землеройная машина ПМЗ-2М на базе автомобильного шасси КАМАЗ-65224, предназначена для отрывки траншей и котлованов

при оборудовании позиций войск и пунктов управления. Отрывка траншей обеспечивается в грунтах II-VI категорий (по ГОСТ 30067). Глубина отрывки траншеи ПЗМ-2М составляет 1,2 м (рис. 1).

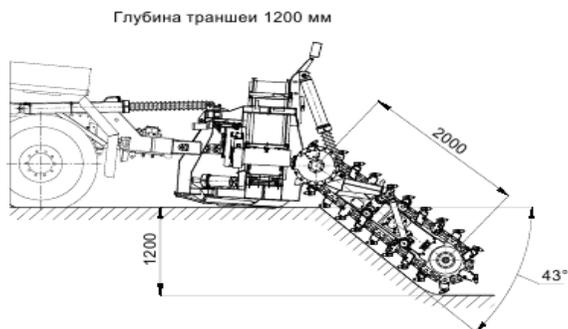


Рис. 1. Рабочий орган ПЗМ-2М

Для применения ПЗМ-2М в народном хозяйстве необходимо модернизировать рабочий орган до 1,5 м. Также модернизированный рабочий орган позволит использовать траншеекопатель для прокладки трубопроводов, волоконно-оптических магистралей, газопроводов, кабелей электросетей, подготовки строительных площадок, выравнивания территории и очистки её от мусора и растительности (кроме деревьев).

Модернизация цепно-балочного рабочего органа, с целью увеличения глубины разработки грунта со значения 1,2 до 1,5 м (рис. 2) включает в себя увеличение длины рамы цепного-балочного рабочего органа, с учетом шага цепи, на 375 мм.

В результате общая длина цепи увеличится на 750 мм. Необходимо добавить 3 балки с двумя грунтообрабатывающими резаками на каждой балке.

Модернизированная модель траншеекопателя общепромышленного применения будет иметь обозначение УЗМ-2-5. Ввиду того, что УЗМ-2-5 будет применяться в народном хозяйстве, модернизация затронет замену шасси военного назначения на шасси общепромышленного назначения КАМАЗ 65224-53.

Сопротивление при разработке грунта, на глубину 1,5 м, увеличиться на 13%, однако ДВС КАМАЗа 65224-53 общепромышленного назначения имеет большую мощность по сравнению с ДВС КАМАЗа 65224-1310 военного назначения, таким образом производительность машины увеличиться с сохранением рабочих скоростей.

Для прокладки волоконно-оптических магистралей требуется глубина прокладки не менее 1,2 м, по нормативным документам, трубопроводов не менее 1 м, газопроводов, кабелей электросетей и телефонных линий не менее 0,8 м. Таким образом, УЗМ-2-5 будет отлично подходить для работ общепромышленного назначения.

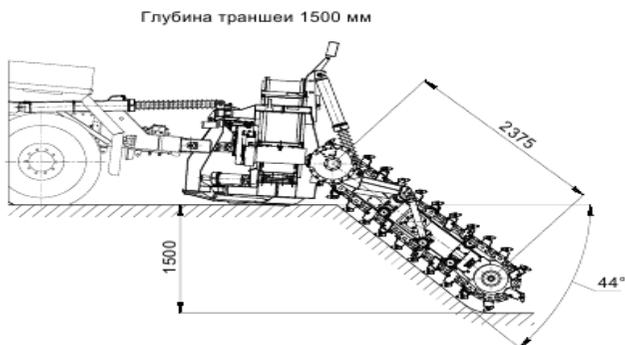


Рис. 2. Модернизированный рабочий орган траншекопателя

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 21354-75. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Расчёт на прочность. Москва: Издательство стандартов, 1975.
2. *Галдин Н.С.* Основы гидравлики и гидропривода. Омск: СибАДИ, 2006.
3. *Башта Т.М.* Машиностроительная гидравлика. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1970.
4. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора машиностроителя. 8-е изд. М.: Машиностроение, 2001. Т. 2.
5. Каталог гидравлики. 4-е изд. Екатеринбург: ОАО «Пневмостроймашина», 2008.

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ СПОРТИВНЫХ ВЕЛОСИПЕДОВ

Д.Н. Тихонов, А.А. Вьюшин

Научный руководитель – **Н.Э. Лысаков**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

В данной статье были затронуты различные конструкции спортивных велосипедов по типу и расположению электропривода. Был проведен анализ и подбор наиболее подходящего электропривода для спортивных велосипедов.

Ключевые слова: электрический велосипед, центральный или подвесной электродвигатель, ступичный электродвигатель, редукторные модели, крутящий момент

ON THE ISSUE OF CHOOSING THE TYPE OF ELECTRIC DRIVE FOR SPORTS BICYCLES

D.N. Tikhonov, E.V. Vyushin

Scientific Supervisor – **N.E. Lysakov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

In this article, various designs of sports bicycles by type and location of the electric drive were touched upon. The analysis and selection of the most suitable electric drive for sports bicycles was carried out.

Keywords: electric bicycle, central or outboard electric motor, hub electric motor, gear models, torque

Электровелосипед – это современный транспорт с множеством преимуществ, а именно не наносит вред окружающей среде и с точки зрения использования он сопоставим с обычным велосипедом, отличительная особенность является наличие электромотора для более легких и приятных поездок.

Существует много конструкций электрических велосипедов. Основное различие – это расположение привода. Нами были рассмотрены два основных типа и выполнен выбор наиболее подходящего для участия спортивных состязаний.

Мотор-колесо (рис. 1), это бесщеточный синхронный электродвигатель [2] постоянного тока, интегрированный в ступицу колеса. Электрические моторы данного типа не используют вспомогательных механизмов для передачи мощности от электродвигателя к колесу и лишены компонентов, подверженных трению, кроме подшипников в редукторных моделях. Электродвигатель, передаточный механизм и колесо объединены в общий узел, что гарантирует высокую надежность.



Рис. 1. Мотор-колесо

Существуют различные типы мотор-колес, а именно:

1. Мотор-колесо с интегрированным планетарным редуктором (рис. 2).



Рис. 2. Мотор-колесо с планетарным редуктором

2. Мотор-колесо с прямым приводом (рис. 3).



Рис. 3. Мотор-колесо с прямым приводом

Независимо от того, как устроено электроколесо – с редуктором или без него, принцип его работы одинаков. В статоре в виде многолучевой звезды из электротехнической стали появляется магнитное поле. При взаимодействии с постоянными магнитами оно инициирует вращение ротора. На лучах статора есть обмотки, и когда по ним идет ток, лучи превращаются в электромагниты. Они притягивают постоянные магниты на роторе и инициируют вращение ротора.

Кареточный мотор (рис. 4) представляет собой редукторный двигатель [1], совмещенный с кареткой велосипеда. Данную каретку встраивают в раму велосипеда. Трансмиссия при этом остается в традиционном варианте. Электрические велосипеды с кареточным мотором способны выдерживать большие нагрузки и позволяют с комфортом проезжать длинные дистанции и сложные участки местности.



Рис. 4. Кареточный мотор

Крутящий момент электромотора, приложенный к оси каретки, посредством трансмиссии велосипеда приводит в движение заднее колесо. При производстве кареточного мотора используется синусный контроллер, что обеспечивает двигателю достаточно тихую работу. Однако это является дорогостоящим решением, вследствие чего цена моторов данного типа – высока. Кареточный мотор (как и мотор-колесо) имеет специальное дополнительное оборудование: рукоятки тормоза и ручку газа, дисплей и систему PAS.

Велосипеды с центральным или подвесным электродвигателем (рис. 5) ценятся за их отличную маневренность и легкость в управлении в сочетании с мощными ходовыми характеристиками. Многие известные на сегодняшний день зарубежные и отечественные бренды предлагают электровелосипеды данного типа. Даже больше: модельные линейки серьезных производителей редко встретишь велосипеды, оборудованные мотор-колесом. Чаще всего это, как раз, премиальные велогибриды с кареточным мотором, с высоким качеством сборки, надежные и долговечные. Соответственно, и стоимость таких велосипедов выше, чем у моделей, оснащенных мотор-колесом. Однако ряд определенных достоинств кареточного типа полностью оправдывает его высокую стоимость.



Рис. 5. Велосипеды с центральным или подвесным электродвигателем

Также в данной работе авторы [4] рассматривают привод отдельным блоком (рис. 6). Данная конструкция представляет собой вынесенный на место багажника привод, состоящий из двигателя и передаточных механизмов. Принцип работы данной конструкции заключается в том, что от двигателя, установленного на багажнике путем ременной передачи, крутящийся момент будет передаваться на вал, от которого через цепь вращение переходит на дополнительную звезду, установленную на заднем колесе и не относящуюся к набору звезд, принадлежащих к педальному приводу. Это делает электропривод независимым от педального, что не допустит вращения педалей при использовании дополнительной тяги. Наличие фривилла, соединяющего вал и дополнительную звезду, также не допустит произвольного вращения вала и, соответственно, ротора двигателя.



Рис. 5. Велосипеды с отдельным блоком электродвигателя

Проанализировав все три вида конструкций, мы пришли к выводу, что для велоспорта наиболее подходящим вариантом будет привод в pedalном узле, потому что за счет своих маленьких габаритов он не сковывает движения спортсмена, а за счет того, что вес конструкции расположен в центре велосипеда, обеспечивается наилучшая управляемость. А также это самый распространенный тип привода среди именитых брендов, благодаря чему у спортсменов или организаторов соревнований не возникнет трудностей с приобретением таких велосипедов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. FORMAND. Кареточный мотор для велосипеда: что он собой представляет, преимущества и недостатки. URL: <https://dzen.ru/a/YhigTgKj42Gqgl5W>
2. Voltbikes. Как работает мотор-колесо. URL: <https://www.voltbikes.ru/blog/electro/kak-rabotaet-motor-koleso/>
3. SPECIALIZED. Limited Time Deals on Select Bikes and Equipment. URL: <https://www.specialized.com/us/en>
4. *Сильвестров А.Ю.* Выбор привода для электровелосипеда / А.Ю. Сильвестров, В.В. Харитонов, А.А. Алюханов // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы III российской молодежной научной школы-конференции, Томск, 21–23 октября 2015 года / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск: СКАН, 2015. С. 39–42. EDNUWGOLB.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЛЯЖЕУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ В РОССИИ

Н.А. Тихонов, К.В. Бугаевский, Л.М. Шамахов

Научный руководитель – **Л.М. Шамахов**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

В статье рассмотрены основные виды существующей пляжеуборочной техники, их конструкция и принцип действия. Проведен анализ эффективности работы таких машин. Выявлены основные проблемы и трудности, связанные с использованием пляжеуборочных машин. Вместе с тем рассматривается необходимость проведения дальнейших исследований и разработок в сфере пляжеуборочных машин, для повышения их эффективности и адаптивования данной техники к особенностям российских пляжей.

Ключевые слова: машина пляжеуборочная, очистка пляжа, решение экологических проблем, экраны просеивающие, песок, бытовые отходы

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF BEACH HARVESTING EQUIPMENT IN RUSSIA

N.A. Tikhonov, K.V. Bugaevsky, L.M. Shamakhov

Scientific Supervisor – **L.M. Shamakhov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

The article discusses the main types of existing beach harvesting equipment, their design and principle of operation. The analysis of the efficiency of such machines is carried out. The main problems and difficulties associated with the use of beach harvesters have been identified. At the same time, the need for further research and development in the field of beach harvesting machines is being considered in order to increase their efficiency and adapt this technique to the peculiarities of Russian beaches.

Keywords: beach cleaning machine, beach cleaning, solving environmental problems, screening screens, sand, household waste

В последние годы экологические проблемы становятся всё более актуальными. Пляжеуборочная техника играет важную роль в поддержании чистоты и красоты пляжей, являясь неотъемлемой частью инфраструктуры курортных зон. В Российской Федерации, обладающей огромным побережьем, наблюдается растущий интерес к развитию и совер-

шенствованию этой области. Причиной этому стало увеличение популярности пляжного туризма и повышение требований к качеству обслуживания отдыхающих.

Данный вид техники позволяет значительно эффективнее поддерживать чистоту пляжей, за счет отказа от примитивных ручных инструментов, такие как грабли, метлы и лопаты.

Прицепная или навесная пляжеуборочная машина используется, в зависимости от характеристик, на пляжах любых размеров, в связи с высокой производительностью, надежностью, экономичностью, а также большим объемом контейнера, в который сбрасывается мусор. Уборка осуществляется с помощью специального устройства, которое тянет за собой трактор, мотоблок, квадроцикл и т.п. Песок, вместе с мусором и другими загрязнениями попадает на просеивающие экраны, где впоследствии происходит очистка. Отходы попадают в сборочный контейнер и в дальнейшем утилизируются [2].

Чтобы лучше понять функциональность пляжеуборочных машин стоит ознакомиться с основными характеристиками [1]:

- Мощность двигателя: пляжеуборочные машины обычно оснащены двигателями средней или высокой мощности. Мощность может варьироваться в зависимости от модели, но обычно она составляет от 100 до 300 л.с.

- Рабочая ширина: это параметр, который определяет, какую площадь пляжа может обработать машина за один проход. Рабочая ширина может варьироваться от 1 до 5 метров. Чем шире рабочая ширина, тем быстрее машина сможет очистить пляж.

- Глубина обработки: пляжеуборочные машины способны очищать песок на определенную глубину. Обычно они могут достигать глубины от 5 до 25 сантиметров.

- Вместимость бункера: специальный отсек или контейнер, предназначенный для сбора мусора с пляжной территории. Объем может варьироваться от нескольких сотен до нескольких тысяч литров.

- Система фильтрации: при очистке пляжей машины захватывают различные загрязнения, поэтому они оснащены системами фильтрации, которые отделяют мусор и другие отходы от песка. Некоторые модели машин имеют дополнительные системы очистки и дробления мусора.

- Система перемещения: пляжеуборочные машины могут иметь системы передвижения на колесах или гусеницах. Это позволяет им легко перемещаться по различным типам пляжной поверхности.

- Контрольные панели: многие пляжеуборочные машины оснащены современными контрольными панелями, которые позволяют оператору легко управлять различными функциями машины, включая скорость работы, высоту обработки и другие параметры.

- Габариты: размеры пляжеуборочных машин могут быть разными в зависимости от модели. Некоторые машины компактные и мобильные, что облегчает их транспортировку и хранение.

Использование пляжеуборочных машин имеет несколько преимуществ. Во-первых, они значительно ускоряют процесс уборки пляжей, позволяя очистить большую площадь за короткий промежуток времени. Это особенно важно в популярных курортных зонах, где пляжи посещаются огромным количеством людей.

Кроме того, пляжеуборочные машины обладают специальными функциями, такими как сбор мусора, просеивание песка и фильтрация воды. Это позволяет не только убрать видимый мусор, но и поддерживать чистоту песка и воды на пляже. Благодаря этому, пляжеуборочные машины способствуют созданию более гигиеничной и безопасной среды для посетителей.

Однако, помимо преимуществ, есть и некоторые ограничения в использовании. Пляжеуборочным машинам запрещено работать при большом скоплении людей. Они будут ограничены в маневрировании, а также создавать шум, поднимать пыль, что может вызвать дискомфорт у посетителей пляжа [3].

В некоторых случаях, машины могут повредить морскую флору и фауну, особенно если пляж находится рядом с экологически чувствительными областями.

Одним из путей решения этого вопроса, будет являться переход на электропривод.

Россия имеет разнообразный климат, где пляжные сезоны могут быть короткими и изменчивыми. Погода, включая сильные ветры, дожди и снегопады, может значительно затруднить работу пляжеуборочной техники. Также побережье страны имеет различную географию, включая песчаные пляжи, гальковые берега и каменистые участки. Техника, предназначенная для чистки песчаных пляжей, может быть неэффективной на гальковых или каменистых участках. Вдобавок многие муниципалитеты и общественные пространства в России могут не быть достаточно осведомлены о пользе и эффективности пляжеуборочной техники. Это может привести к недостаточному использованию или неправильному обращению с такой техникой.

Важным аспектом развития пляжеуборочной техники является ее адаптация к местным условиям и климатическим особенностям России. Например, использование техники на различных типах пляжей, включая песчаные, галечные и скалистые. Разнообразии поверхностей и условий местности требует гибкости в дизайне и функциональности пляжеуборочной техники.

Внедрение современных методов обустройства и содержания пляжей с использованием пляжеуборочной техники может способствовать повышению привлекательности пляжей для туристов и развитию туристического сектора в России. С учетом растущего интереса к улучшению пляжной инфраструктуры и экологической чистоты пляжей, можно ожидать, что пляжеуборочная техника будет продолжать развиваться и совершенствоваться в России, отвечая потребностям и требованиям современных пляжных зон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брянцева В.А. Машины и агрегаты для уборки пляжей / В.А. Брянцева, Г.А. Брянцева, М.М. Ямалетдинов // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК: материалы международной научно-практической конференции в рамках XXXI Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2021», Уфа, 23–26 марта 2021 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Министерство сельского хозяйства республики Башкортостан; ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет»; ООО «Башкирская выставочная компания». Часть 2. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2021. С. 30–34. EDN PEYQGS.
2. Патент на полезную модель № 147416 U1 Российская Федерация, МПК E01H 12/00. Комбайн для тонкой очистки песчаного пляжа: № 2014119126/13: заявл. 13.05.2014: опубл. 10.11.2014 / Р.Х. Абульханов, Ф.Х. Падина, А.В. Падин [и др.]. EDN RAKDKB.
3. Патент на полезную модель № 98016 U1 Российская Федерация, МПК E01H 12/00. Машина для очистки пляжа. № 2010124909/03: заявл. 17.06.2010: опубл. 27.09.2010 / Кочканян С.М., Михайлов А.А. EDN RAKDKB.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ СТЕНКИ БАРАБАНА С НАРЕЗКОЙ ТИПА
«ЛЕБУС» С ИННОВАЦИОННОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ
РЕБОРДЫ**

А.Л. Трофимов¹, А.Ю. Андреев²

Научный руководитель – **С.Г. Степанов¹**, д-р техн. наук,
профессор

¹Ивановский государственный политехнический университет
²АО «Галичский автокрановый завод»

Рассматривает анализ существующих методик определения геометрических размеров барабана лебедки автокрана, с учетом влияния типа нарезки барабана, геометрических размеров канавок под канат, геометрической формы и размеров реборды барабана, тип применяемого каната на прочностные характеристики барабана.

Ключевые слова: лебедка, барабан, нарезка "Лебус", канат, реборда

**RESEARCH OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE WALL
OF A DRUM WITH A "LEBUS" TYPE THREAD
WITH AN INNOVATIVE FLANGE DESIGN**

A.L. Trofimov¹, A.Yu. Andreev²

Scientific Supervisor – **S.G. Stepanov¹**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

¹Ivanovo State Polytechnic University
²JSC "Galich Truck Crane Plant"

Considers an analysis of existing methods for determining the geometric dimensions of a truck crane winch drum, considering the influence of the type of drum cutting, the geometric dimensions of the grooves for the rope, the geometric shape and dimensions of the drum flange, the type of rope used on the strength characteristics of the drum.

Keywords: winch, drum, Lebus cutting, rope, flange

Задачей заявляемого исследования является создание конструкции барабана для многослойной навивки стального каната, обеспечивающей равномерную намотку грузового каната и позволяющей снизить нагрузку на цилиндрическую часть барабана.

Техническим результатом исследования является снижение нагрузки на цилиндрическую часть барабана за счет формы выступов на реборде и технологии навивки каната на барабан.

Для достижения поставленной задачи предлагается создание реборды барабана для многослойной навивки грузового каната, представляющая собой металлический диск с центральным отверстием и полукруглыми выступами (рис. 1-2), расположенными в два слоя на внутренней стороне. Радиус выступов и их толщина зависят от диаметра применяемого грузового каната.



Рис. 1. Реборда барабана со специальными выступами



Рис. 2. Барабан автокрана с нарезкой типа «Лебедки» лебедки со сбрасывателями

Основные формулы подбора геометрических размеров (радиус и толщина) выступов полученные путем трехмерного моделирования с учетом сплющивания грузового каната при нагружении и намотке в нагруженном состоянии. Данные геометрические зависимости были подтверждены эмпирическим путем. На рис. 3-4 показаны геометрические размеры выступов.

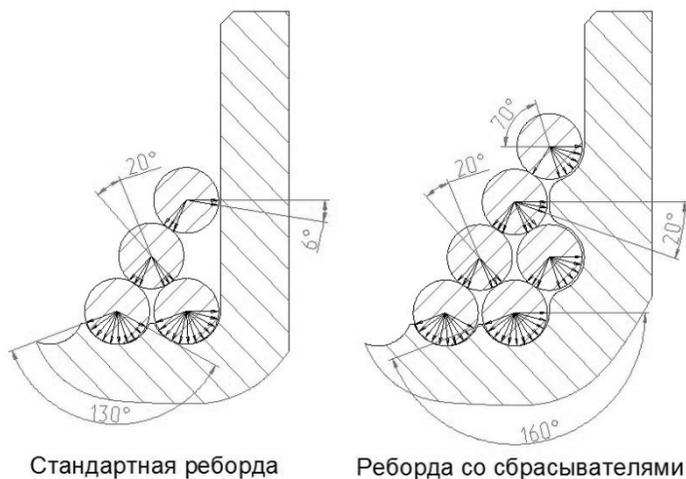


Рис. 3. Распределение нагрузки

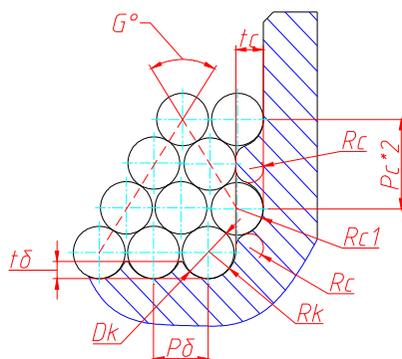


Рис. 4. Размеры выступов

При равномерном распределении усилия от каната на канавку барабана, вертикальная составляющая силы будет минимальна, а силы на-

правленные под углом будут воздействовать уже не на минимальную толщину барабана, а на сечение в плоскости силы, которое заведомо больше. Графически передача напряжений от каната на барабан различных типов каната изображена на рис. 5.

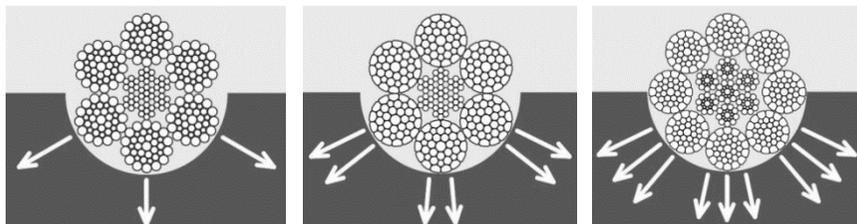


Рис. 5. Передача усилий с каната на барабан для различных типов каната

При расчете по методике Б.С. Ковальского [5] не учитываются данные по конструкции каната, хотя при изменении пятна контакта соответственно изменяется и сила трения, которая в свою очередь оказывает серьезное влияние на сжимающие усилия на барабан.

Если рассмотреть различные варианты нарезки барабана, то можно отметить, что нарезка барабана так же влияет на пятно контакта и силу трения.

При нарезке барабана по новой технологии типа «Лебус» площадь пятна контакта между слоями намотки больше, чем при винтовой нарезке в 5,25 раза. Соответственно при расчете толщины стенки барабана этот фактор должен учитываться.

Известные нам методики расчета толщины стенки барабана не учитывают влияние типа нарезки барабана, типа каната и геометрические особенности барабана.

Для проверки утверждения, что тип каната, новые технологии нарезки барабана и предложенная технология изготовления реборды с выступами снижает напряжение в стенке барабана, предлагается новая методика расчета с учетом сил трения, возникающих в канате, навиваемом на барабан:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_n}{dS} + \omega_t P_b - \omega_b P_t = -\gamma_n, \\ \frac{dP_b}{dS} + \omega_n P_t - \omega_t P_n = -\gamma_b, \\ \frac{dP_t}{dS} + \omega_b P_n - \omega_n P_b = -\mu\gamma_n, \end{array} \right.$$

где P_n и P_b – поперечные силы, возникающие при намотке каната с осевым усилием P_i ;

γ_n – нормальная контактная нагрузка;

γ_b – нормальная поперечная нагрузка;

μ – коэффициент трения;

S – расстояние до оси каната от точки возникающих сил.

ω_b , ω_n – возникающие в канате кручение и кривизна в осевом, поперечном и продольном направлениях. Они определяются по формулам:

$$\omega_t = -\frac{1}{2}v * \sin 2\beta * \cos \phi + \frac{1 * \sin 2\beta}{2 * r}, \quad (1)$$

$$\omega_b = -v * \cos \beta * \sin \phi - \frac{d\beta}{ds}, \quad (2)$$

$$\omega_n = -v * \sin \beta * \cos \phi - \frac{d\beta}{ds}, \quad (3)$$

где r и ϕ – полярные координаты в поперечном сечении каната;

β – угол свивки каната;

v – число обратно пропорциональное радиусу кривизны оси каната.

Для подтверждения или опровержения предложенной методики расчета планируется провести испытания с использованием тензодатчиков для определения влияния слойности навивки каната на характер напряженно-деформированного состояния стенки барабана с нарезкой типа «Лебус» с учетом инновационной конструкции реборды со сбрасывателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровков А.И. Конечно-элементное вычисление эффективных механических характеристик стального каната на основе моделирования микроструктуры и множественного контактного взаимодействия / А.И. Боровков, Д.В. Климшин // *Фундаментальные исследования в технических университетах*. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. С. 232-233.
2. Erdonmez C. Characterizing the finite element analysis of nested helical geometry and test procedure for wire ropes / C. Erdonmez, O. Salman, C. Imrak // *IV European Conference on Computational Mechanics Palais des Congres, Paris, France, May 16-21, 2010*. Paris, 2010.
3. Ломакин А.А. Изменение напряжений в витках каната при навивке на барабан // *Машинобудування: зб. наук. праць / Укр. інж.-пед. акад. Харків*, 2014. № 13. С. 24-29.
4. Фидровская Н.Н. Давление витков каната на оболочку барабана / Н.Н. Фидровская, А.А. Ломакин // *Машинобудування: зб. наук. праць / Укр. інж.-пед. акад. Харків*, 2014. № 14. С. 44-53.
5. Расчеты крановых механизмов и их деталей ВНИИПТМАШ / под ред. Р.А. Лалаянца. 4-е изд., перераб. и доп. Москва, 1993. Том 2. 163 с.

**МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
АМОРТИЗАТОРОВ ВАЛЬЦА ВИБРАЦИОННЫХ КАТКОВ**

**А.И. Тюремнов, Д.Н. Тихонов, Д.А. Шорохов,
И.С. Тюремнов**

Научный руководитель – **И.С. Тюремнов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются различные методы экспериментального определения коэффициента вязкого сопротивления амортизаторов вибрационных катков. Описывается конструкция разработанных экспериментальных стендов.

Ключевые слова: *вибрация, амортизатор, коэффициент вязкого сопротивления, экспериментальное определение, стенд экспериментальный, колебания свободные затухающие, колебания вынужденные*

**METHODS OF EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE
VALUES OF THE COEFFICIENT OF VISCOUS RESISTANCE
OF ROLLER SHOCK ABSORBERS OF VIBRATING ROLLERS**

A.I. Tyuremnov, D.N. Tikhonov, D.A. Shorokhov, I.S. Tyuremnov

Scientific Supervisor – **I.S. Tyuremnov**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Various methods of experimental determination of the coefficient of viscous resistance of shock absorbers of vibration rollers are considered. The design of the developed experimental stands is described.

Keywords: *vibration, shock absorber, coefficient of viscous resistance, experimental determination, experimental stand, free damped oscillations, forced oscillations*

При проектировании и модернизации вибрационных машин и прогнозирования реализуемых колебаний элементов машин, применяется математическое моделирование. Для уменьшения вредного влияния вибраций в вибрационных машинах используют амортизаторы. Характеристики амортизаторов чаще всего моделируются при помощи параллельно установленных элементов упругого и вязкого сопротивления (схема Фойгта). Однако в технических характеристиках амортизаторов числен-

ные значения данных коэффициентов часто не указываются. Поэтому необходимо экспериментально определять значение коэффициента вязкого сопротивления амортизаторов. Это можно реализовать несколькими способами.

Первый способ использует свободные затухающие колебания. Затухающие колебания – это колебания, амплитуда которых уменьшается с течением времени (пока не станет равна нулю), так как колебательная система теряет энергию. Энергия может расходоваться на преодоление сопротивления воздуха, на увеличение внутренней энергии, на преодоление сил трения.

Уравнение затухающих колебаний в дифференциальном виде записывается [1, 2]:

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = 0$$

или

$$\ddot{x} + 2h\dot{x} + \omega_0^2 x = 0,$$

где m – масса, кг; b – коэффициент вязкого сопротивления амортизатора, Н·с/м; c – коэффициент упругого сопротивления амортизатора, Н/м; h – коэффициент демпфирования, Н·с/(м·кг); ω_0 – угловая скорость собственных колебаний, рад/с; x – перемещение, м.

Коэффициент демпфирования h связан коэффициентом вязкого сопротивления амортизатора b соотношением

$$h = \frac{b}{2m}. \quad (1)$$

Значение ω_0 определяется из выражения

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}. \quad (2)$$

Зная массу колебательной системы и жёсткость амортизаторов, измеряя ускорение и перемещение колебаний, возможно определение значений коэффициентов демпфирования и вязкого сопротивления:

$$h = \frac{-\ddot{x} + \omega_0^2 x}{2\dot{x}}.$$

В данном выражении есть три измеряемые величины: ускорение, скорость и перемещение. Измерение скорости связано с техническими проблемами. Также каждый датчик имеет свою погрешность, что в ходе вычислений может привести к большой неточности.

Меньшее количество измеряемых параметров требуется при использовании логарифмического декремента затухания λ [1, 2], под которым понимается натуральный логарифм отношения амплитуд свободных

затухающих колебаний в моменты времени, разделённые промежутком в один период T (рис. 1):

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = hT, \quad (3)$$

где T – период колебания, с; t – время, с; $A(t)$ – амплитуда свободных затухающих колебаний в момент времени t , м; $A(t+T)$ – амплитуда свободных затухающих колебаний в момент времени $t+T$ (через один период), м.

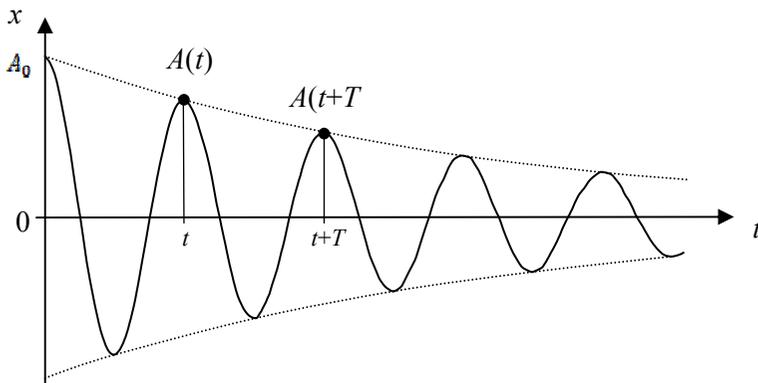


Рис. 1. График зависимости амплитуды свободных затухающих колебаний от времени

С учетом (2) и (3) значение b определяется:

$$b = \frac{2m\lambda}{T}. \quad (4)$$

Помимо этого, используя данный метод, можно определить коэффициент упругого сопротивления амортизатора:

$$c = m \left[\left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 + \left(\frac{\lambda}{T} \right)^2 \right].$$

В данном способе всего одна измеряемая величина – перемещение, значение которого можно измерить лазерным датчиком. За счёт этого проведение эксперимента сильно упрощается и снижается итоговая погрешность.

Измерение вязкости через вынужденные колебания. Вынужденные колебания – это колебания, происходящие под воздействием внешних периодических сил.

Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний при наличии демпфирования имеет вид

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = F\cos(\omega t).$$

Преобразуя данное уравнение, получим

$$\ddot{x} + 2h\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_a \cos(\omega t)}{m},$$

где $F_a \cos(\omega t)$ - вынуждающая сила, Н; F_a - амплитуда вынуждающей силы, Н; ω - угловая скорость колебаний, рад/с.

При наличии вязкого сопротивления резонансная частота колебаний $\omega_{\text{рез}}$ становится меньше, чем частота собственных колебаний ω_0 (рис. 2).

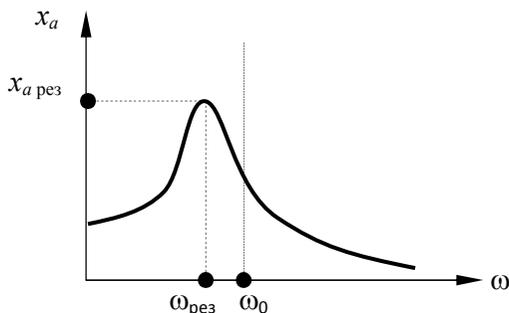


Рис. 2. График зависимости амплитуды от частоты колебаний

Резонансную частоту колебаний $\omega_{\text{рез}}$ системы с демпфированием можно определить по формуле [2], рад/с:

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2h^2}. \quad (5)$$

Амплитуда резонансных колебаний [2], м:

$$x_{a \text{ рез}} = \frac{F_a}{2mh\sqrt{\omega_0^2 - 2h^2}}. \quad (6)$$

Для определения $\omega_{\text{рез}}$ необходимо проведением эксперимента, в ходе проведения которого подбираются значения h , которые будут справедливы для обоих уравнений (5) и (6), после чего находится коэффициент b из уравнения (1).

Для проведения данных экспериментов был стенд (рис. 3) в двух модификациях: для исследования свободных затухающих колебаний и вынужденных колебаний. Стенд (см. рис. 3, а) предназначен для генерации свободных затухающих колебаний. С помощью домкрата центральная пластина с установленными на ней наборными массами отводится вверх и фиксируется чекой, которая впоследствии вырывается. После это-

го пластина начинает совершать свободные затухающие колебания, которые регистрируются лазерным датчиком перемещений.

Установка (см. рис. 3, б) предназначена для генерации вынужденных колебаний, вызванных вибровозбудителем. Вибровозбудитель создаёт круговые колебания, горизонтальная составляющая которых гасится шарниром, через который на центральную пластину, закреплённую между двумя амортизаторами, передаются вертикальные колебания. С помощью акселерометра и лазерного датчика перемещения, определяются резонансная частота и амплитуда характеристики колебаний.

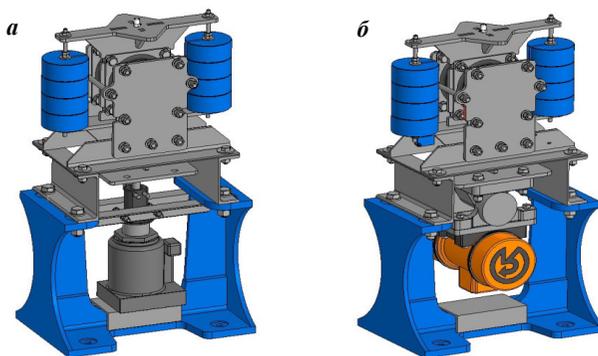


Рис. 3. Экспериментальные стенды для определения значений коэффициента вязкого сопротивления амортизаторов различными способами

Для реализации колебаний с различными частотами, на каждой установке проводятся несколько экспериментов с разными массами.

Таким образом, в результате проведения экспериментов с помощью разных методов, учитывая погрешности измерений, выбирается метод, дающий наиболее точное значение коэффициента вязкого сопротивления амортизаторов вибрационных катков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капустин М.И.. О методах определения динамических параметров механических систем / М.И. Капустин, В.А. Свинин, Е.К. Чабуткин // Строительные и дорожные машины: Межвузовский сб. науч. тр. Ярославль: ЯПИ, 1978. С. 11-13.
2. Бауман В.А. Вибрационные машины и процессы в строительстве: Учебное пособие для студентов строительных и автомобильно-дорожных вузов / В.А. Бауман, И.И. Быховский. М.: Высшая школа, 1977. 255 с.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МУЛЬЧЕРА НА БАЗЕ ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА

А.В. Узлов, Н.Е. Тарасова

Научный руководитель – **Н.Е. Тарасова**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В данной статье рассматривается навесное оборудование – гидравлический мультчер, его особенности конструкции, основные характеристики и пути дальнейшей модернизации. Описана конструкция навесного мультчера на фронтальном погрузчике. Оборудование представляет собой ротор, с закрепленными на нем фиксированными резаками.

***Ключевые слова:** мультчер, гидравлический кусторез, фрезерное оборудование, оборудование для измельчения*

DEVELOPMENT OF MULCHER DESIGN ON THE BASIS OF FRONT LOADER

A.V. Uzlov, N.E. Tarasova

Scientific Supervisor - **N.E. Tarasova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This article deals with the attachment equipment - hydraulic mulcher, its design features, main characteristics, and ways of further modernization. The design of the mounted mulcher on the front loader is described. The equipment is a rotor with fixed cutters fixed on it.

***Keywords:** mulcher, hydraulic hedge trimmer, milling equipment, shredding equipment*

В случаях, когда необходима очистка территории от древесно-кустарниковой растительности, но при этом собирать щепу не планируется, широко применяются мультчерные измельчители.

Такое навесное оборудование может устанавливаться на фронтальные погрузчики, тракторы или экскаваторы.

Проведя анализ отечественного рынка мульчеров, выявились следующие проблемы: в России и странах СНГ слабо развито производство навесного мульчерного оборудования, особенно с гидравлическим приводом; высокая цена на зарубежное оборудование, расходные материалы или полная невозможность его покупки в нашей стране; сложности с покупкой расходных материалов и запасных частей[1].

В связи с этим, была поставлена задача – разработать мульчер с гидравлическим приводом, который устанавливается непосредственно на стрелу фронтального погрузчика, с возможностью ее подъема, что позволяет срезать и измельчать подлесок, стволы деревьев и пни за несколько проходов.

Использование гидравлического мульчера на фронтальном погрузчике несет за собой ряд преимуществ, в том числе высокую производительность; сравнительно высокую рентабельность, достигаемую за счет возможности выполнения ряда операций одной машиной; возможность быстро менять место дислокации при выполнении работ за счет достаточно высокой транспортной скорости фронтального погрузчика; нанесение меньшего вреда окружающей среде, чем валка бульдозером, выжигание или применение гербицидов; минимальное повреждение верхнего слоя почвы.

Разработанная конструкция гидравлического мульчера, показанная на рис. 1, представляет собой навесное оборудование 3, которое закрепляется на стреле 2, фронтального погрузчика 1, с минимальной мощностью 110 кВт или 150 л.с. и минимальной грузоподъемностью 1500 кг.

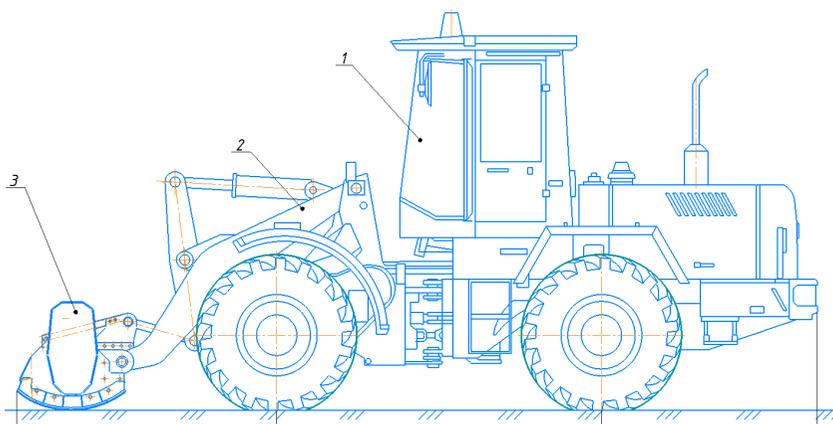


Рис. 1. Конструкция мульчера на базе фронтального погрузчика

В среде разработки Компас-3D [2] была спроектирована модель гидравлического мульчера, конструкция которого представлена на рис. 2.

Разработанный гидравлический мульчер устанавливается на стрелу фронтального погрузчика при помощи крепежных пальцев через проушины 1, что обеспечивает возможность быстрой смены оборудования.

Оборудование работает от гидравлической системы фронтального погрузчика, которая создает подачу гидравлического масла к нерегулируемому аксиально-поршневому гидромотору 310.3.112 (5), крутящий момент с которого передается на ведущий шкив 6 и через ременную передачу 8 на ведомый шкив 7, что в свою очередь заставляет вращаться ротор мульчера. Для регулировки натяжения ремней установлен натяжитель ремней 4.

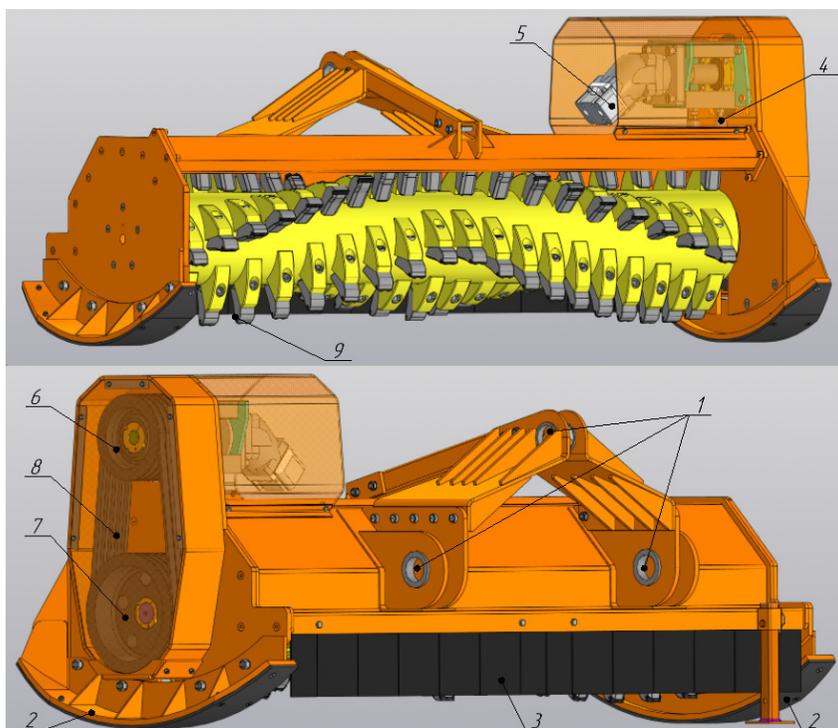


Рис. 2. 3D-модель гидравлического мульчера

Рабочим органом мульчера является ротор, показанный на рис. 3, который состоит из барабана 10, на котором с помощью болтов 11 закрепляют режущие элементы 9.

Фиксированные режущие элементы имеют напайку из карбида вольфрама, благодаря чему обеспечивается прочность и защита от быстрого износа.

Для защиты резцов от контакта с грунтом корпус оснащен опорами 2, а также защитным фартуком 3, для предотвращения рассеивания щепы и веток (см. рис. 2).

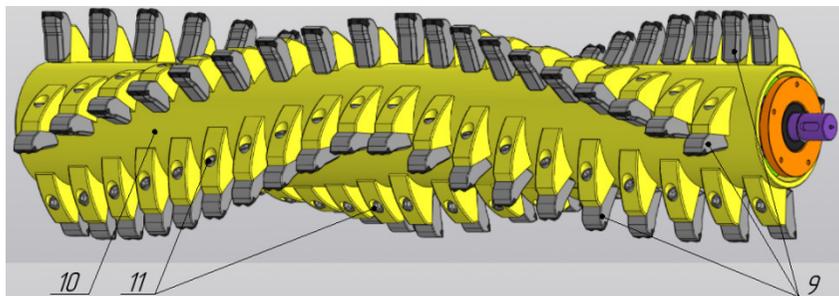


Рис. 3. 3D-модель ротора мульчера

Таким образом, разработанная конструкция гидравлического мульчера на базе фронтального погрузчика позволяет выполнять работы по расчистке территории от древесно-кустарниковой растительности. При этом использование отечественного оборудования может существенно снизить затраты на покупку и эксплуатацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Малюков С.В.* Анализ конструкций мульчеров и роторов / С.В. Малюков, Е.А. Панявина, А.А. Аксенов // Лесотехнический журнал. 2019. №1.
2. «Аскон». Система трехмерного моделирования «Компас-3D». URL: <https://ascon.ru/products/kompas-3d>

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПРИВОДА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

К.Ю. Фролов, Д.В. Шурыгин

Научный руководитель – **Н.Э. Лысаков**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

В работе представлены результаты сравнения различных систем привода легковых автомобилей по критерию безопасности и курсовой устойчивости.

***Ключевые слова:** передний привод, задний привод, полный привод, занос, снос*

COMPARISON OF DIFFERENT TYPES OF DRIVE FOR PASSENGER VEHICLES

K.Y. Frolov, D.V. Shurygin

Scientific Supervisor – **N.E. Lysakov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

The paper presents the results of a comparison of various drive systems of passenger cars according to the criteria of safety and directional stability.

***Keywords:** front-wheel drive, rear-wheel drive, all-wheel drive, skidding, demolition*

Многие начинающие водители сталкиваются с проблемой выбора автомобиля и типа привода, который на нем установлен. Авторы статьи [1] считают, что привод автомобиля – одна из важнейших характеристик транспортного средства. В зависимости от привода автомобиля, сильно отличается управляемость, особенно на скользких поверхностях. Кроме того каждый тип привода отличается друг от друга способностью противостоять заносу или сносу.

Для начала разберемся, что такое занос и снос и чем они друг от друга отличаются.

В работе [2] термином «занос» (рис. 1) обозначают боковое соскальзывание задней оси автомобиля, приводящее к частичной потере боковой устойчивости.

В статье [3] под термином «снос» (см. рис. 1) подразумевается потеря управляемости, то есть такое явление, при котором автомобиль перестает откликаться на рулевое управление и движется в сторону воздействия инерционной силы.

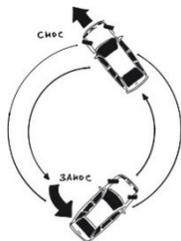


Рис. 1. Изображение заноса и сноса

Таким образом, можно сделать вывод о том, что снос – более опасное явление, чем занос, потому что при возникновении сноса контролировать машину гораздо сложнее, чем при возникновении заноса.

В автомобилях чаще всего используется три типа привода: передний привод, задний привод и полный привод. В автомобиле с передним приводом крутящий момент передается от двигателя на передние колеса, задние же колеса катятся следом (рис. 2).

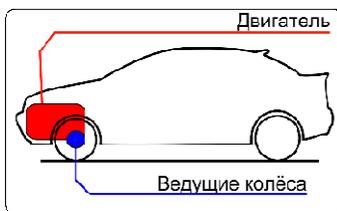


Рис. 2. Схема переднего привода

В данном случае передние колеса выполняют две функции: функцию управления, так как они являются поворотными, и функцию движения, так как они являются ведущими. При переизбытке крутящего момента или при заблокированных колесах, теряется сцепление с дорогой, и в данном случае возникает снос передней оси автомобиля. В статье [2] описано, что переднеприводные автомобили из-за недостаточной поворачиваемости сильно склонны к сносу, но не склонны к заносу, при этом вывести переднеприводный автомобиль из заноса сложнее, чем заднеприводный автомобиль, но тем не менее переднеприводный автомобиль в сложных условиях ведет себя гораздо стабильнее, чем заднеприводный

(рис. 3). Таким образом, автомобиль с передним приводом обладает более высокой курсовой устойчивостью, но худшей управляемостью по сравнению с задним приводом [1, 7].

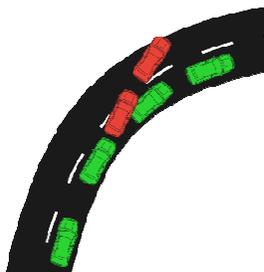


Рис. 3. Снос передней оси переднеприводного автомобиля

В автомобиле с задним приводом крутящий момент передается от двигателя на задние колеса, передние колеса катятся перед ними (рис. 4).

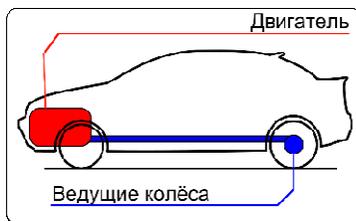


Рис. 4. Схема заднего привода

В данном случае каждая из пар колес выполняет свою функцию и при переизбытке крутящего момента передние колеса не теряют сцепление с дорогой, но задние колеса уходят в занос. Чтобы вывести заднеприводный автомобиль из заноса, необходимо сбросить газ, и направлять автомобиль в сторону заноса, при этом скорость автомобиля падает, и контролировать ситуацию становится легче. Чтобы вывести переднеприводный автомобиль из заноса, нужно наоборот увеличить подачу газа, и также направлять автомобиль в сторону заноса, но при этом скорость автомобиля растет, и контролировать ситуацию становится сложнее, к тому же большую роль играет правильно подобранная передача, а в критической ситуации при переключении на более низшую передачу можно потерять контроль на автомобиле. Таким образом, заднеприводный автомобиль, как правило, из заноса вывести проще, чем переднеприводный. Сносу же заднеприводные автомобили менее подвержены, чем передне-

приводные (рис. 5). В итоге можно сказать, что заднеприводный автомобиль имеет более низкую курсовую устойчивость, но лучшую и понятную управляемость [1, 7].

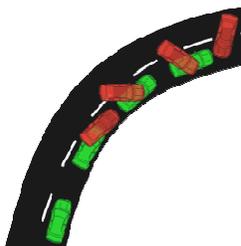


Рис. 5. Занос заднеприводного автомобиля

На автомобилях с полным приводом крутящий момент передается на все четыре колеса и все четыре колеса являются ведущими. Автомобили с постоянным полным приводом сочетают в себе как достоинства, так и недостатки управления заднеприводных и переднеприводных автомобилей (рис. 6). Управление автомобиля зависит от того сколько крутящего момента передается на каждую ось. Если на заднюю ось передается большая часть крутящего момента, автомобиль имеет поведение заднеприводного автомобиля, а если крутящий момент передается в основном на переднюю ось, то автомобиль имеет поведение переднеприводного автомобиля.

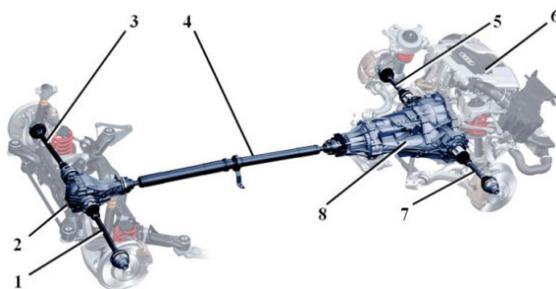


Рис. 6. Схема постоянного полного привода:

1 и 3 – карданные передачи привода задних колес; 2 – задний редуктор;
4 – карданная передача привода заднего моста; 5 и 7 – карданные передачи привода передних колес; 6 – двигатель внутреннего сгорания; 8 – коробка передач

Однозначно сказать какой тип привода безопаснее невозможно. У каждого типа есть свои достоинства и недостатки, дорожные ситуации

также бывают разные. Переднеприводный автомобиль наиболее склонен к сносам передней оси и его гораздо сложнее вывести из заноса, особенно когда алгоритм вывода из заноса противоречит инстинктам человека. Заднеприводный автомобиль легко ввести в занос, но легко и вывести, для опытного человека задний привод является наиболее безопасным. На полноприводном автомобиле очень сложно потерять сцепление с дорогой, но если оно потеряется, то сразу всех четырех колес, и вывести такой автомобиль из заноса очень сложно, не зная технических особенностей автомобиля. В настоящее время разница между типами приводов стала минимальной, потому что автопроизводители каждый автомобиль стали оснащать системами курсовой устойчивости, которая в опасной ситуации поможет водителю стабилизировать автомобиль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондаренко Д.С.* Автомобили с различными типами приводов / Д.С. Бондаренко, О.В. Князькина // За нами будущее: взгляд молодых ученых на инновационное развитие общества: Сборник научных статей 2-й Всероссийской молодежной научной конференции. В 4 т, Курск, 04 июня 2021 года / Отв. редактор А.А. Горохов. Том 4. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. С. 215–219. EDN DGT LAV.
2. *Чавчанидзе Г.А.* Активная безопасность при заносе в автоспорте / Г.А. Чавчанидзе, Э.С. Цыганков, В.Н. Зудин // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. 2016. № 4. С. 74–76. EDN WEJHVV.
3. *Медведицков С.И.* Экспериментальные исследования управляемости легковых автомобилей различной компоновки / С.И. Медведицков, Г.М. Бабынина, А.А. Дзема // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2017. № 3(20). С. 22–27. EDN ZHLHBX.
4. *Железняков Д.А.* Сравнение систем полного привода автомобилей / Д.А. Железняков, А.О. Платонов // Перспективное развитие науки, техники и технологий: сборник научных статей материалы 6-й Международной научно-практической конференции, Курск, 20–21 октября 2016 года. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2016. С. 58–61. EDN WYAQDJ.
5. *Угроватый М.С.* Полный привод, его виды и характеристики // EuroreanScientificConference: сборник статей XV Международной научно-практической конференции, Пенза, 07 мая 2019 года. Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2019. С. 63–65. EDN RMWARX.
6. *Никифоров С.С.* Полный привод автомобилей / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет, кафедра колесные и гусеничные машины. Часть 3. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2022. 274 с. EDN KVZEQL.

ТЕЛЕЖКА СКЛАДСКАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ

А.М. Шишов

Научный руководитель - **Д.И. Трошин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В данной статье рассматривается проблема несовершенства складского оборудования. Целью статьи является презентация и описание усовершенствованной конструкции складской автоматической тележки

Ключевые слова: тележка складская автоматическая, складское оборудование, ножничная тележка

AUTOMATIC STORAGE TROLLEY

A.M. Shishov

Scientific Supervisor - **D.I. Troshin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This article discusses the problem of imperfection of warehouse equipment. The purpose of the article is to present and describe an improved design of an automatic warehouse trolley.

Keywords: automatic storage trolley, storage equipment, scissor trolley

Динамичное развитие электронной коммерции, строительство высокоэффективных производств в Российской Федерации требует бесперебойной, быстрой и безопасной доставки товаров, материалов и комплектующих. За период 2022–2023 гг. было введено в эксплуатацию 592 предприятия, более чем в 43 регионах страны. В связи с этим, на данный момент активно ведется проектирование и создание новых высокоскоростных трасс и высокоскоростных магистралей, транспортных коридоров и транспортных узлов. Соответственно, также идет активное возведение логистических комплексов, при этом пик инвестиций и введение в эксплуатацию объектов отрасли «логистические комплексы» придется уже на 2025–2026 г. Все они требуют повышенной скорости и точности выполнения операций. Традиционные методы складского управления уступают место автоматизированным системам, способствующих улучшению производительности и снижению рисков человеческих ошибок (рис. 1).



Рис. 1. Виды управляемой складской техники

Что говорит о важности и необходимости создания нового типа складского оборудования уже сегодня. Для решения этой проблемы, в Ярославском государственном техническом университете, на кафедре «Строительные и дорожные машины» была разработана автоматически управляемая тележка ножничного типа (Automatic Guided Vehicle).

Тележка предназначена для паллет массой до 0,6 тонны на высоту до 0,1 м и скоростью передвижения до 12 км/ч. Рабочее оборудование состоит из ножничного механизма, двух гидроцилиндров подъема, шестеренного насоса, бесколлекторного двигателя постоянного тока гидропривода, четырех бесколлекторных двигателей постоянного тока привода колес, ультразвуковых и инфракрасных датчиков. Выгрузка и разгрузка паллет производится на погрузочно-разгрузочных стендах, состоящих из двух швеллеров, GPS маячком и датчиком веса.



Рис. 2. Автоматическая управляемая тележка

Передвижение тележки осуществляет привод, состоящий из 4 независимых приводных блоков: мотор + муфта + вал + колесо. Двигатель – бесколлекторный, постоянного тока, так как данный тип двигателя отличается своей высокой надежностью, обладает высокой мощностью, имеет хороший отвод тепла и в меньшей степени электромагнитные помехи. Для увеличения маневренности установлены колеса Илона, независимое вращение каждого из них позволяет производить перемещение по диагонали, бесповоротное движение перпендикулярно основной траектории, и разворот за 360 градусов, что позволяет использовать AVG даже в самых стесненных условиях.

Подъемный механизм ножничного типа состоящих из двух независимых элементов, с гидравлическим приводом, производящимся от шестеренного гидронасоса, работающего от бесколлекторного двигателя постоянного тока, позволяет удобно устанавливаться под паллету, а также передислоцировать стеллажи, ящики и готовые узлы, заготовки на сборочных линиях.

Определение препятствий производится ультразвуковыми и инфракрасными датчиками, совместная работа которых позволяет увеличить скорость и точность измерения расстояния до объектов, используя более дешевые и доступные компоненты.

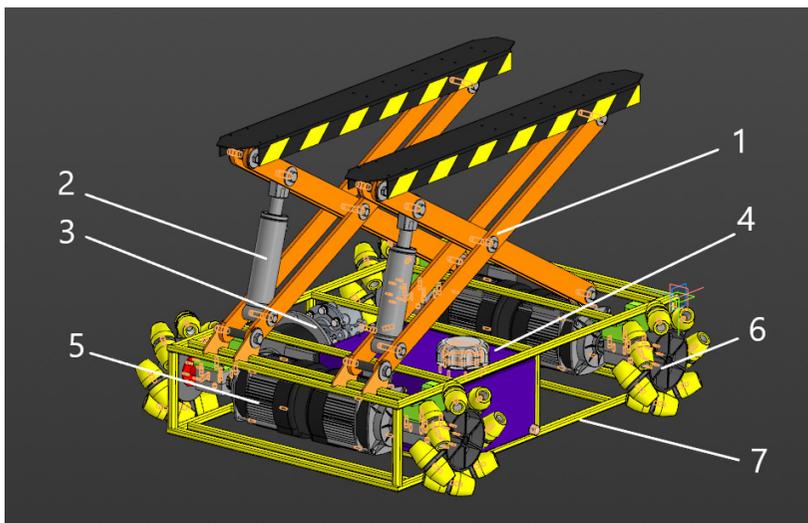


Рис. 3. Автоматическая управляемая тележка:

- 1 – ножничный механизм; 2 – гидроцилиндр подъема; 3 – шестеренный гидронасос; 4 – гидробак; 5 – электродвигатель бесколлекторный постоянного тока; 6 – колесо Илона; 7 – рама несущая

Алгоритм работы складской автоматической тележки состоит из трех этапов.

Первый этап – принятие груза, при выгрузке на погрузочно-разгрузочный стенд датчик веса подает сигнал на маячок о присутствии груза, тележка начинает движение в зону работы маячка, поднимает поддон, после чего сканирует QR-код зоны доставки.

Второй этап – движение по заданным QR-коде координатам к месту выгрузки. Место выгрузки также может назначаться оператором с сигнального пульта.

Третий этап – разгрузка, опускание паллеты на разгрузочный стенд и начало нового цикла.

При отсутствии задачи или при снижении уровня заряда до 10% и менее, AGV автоматически возвращается на зарядную станцию.

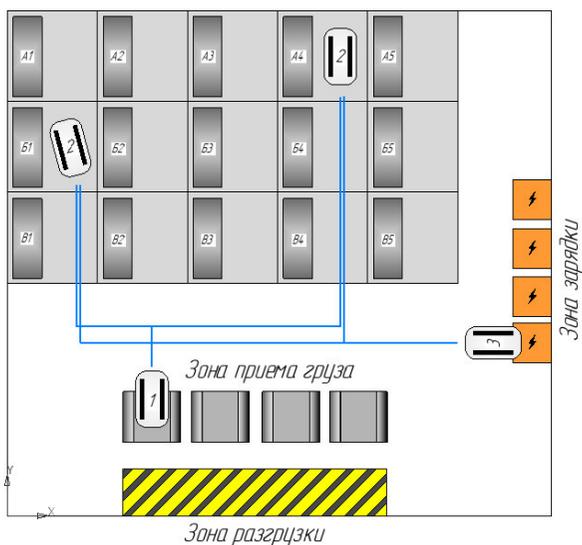


Рис. 4. Схема движения автоматически управляемой тележки

В ходе проекта была разработана автоматическая тележка ножничного типа, обладающая простой в сборке и практичной в эксплуатации конструкции. Проект представляет эффективное решение для автоматизации складских процессов, объединяя в себе свойства вилочной AGV и AGV роликового типа, для транспортировки европаллет, и автоматических тележек с подъемной платформой для транспортировки стеллажей. Тележка увеличивает производительность и скорость циклов, безопас-

ность на объектах складских комплексов. Находит свое применение не только для перевозки евро-паллет, но также для транспортировки столов, и крупногабаритных узлов готовых/участвующих в процессе сборки в сборочных цехах. Данную конструкцию можно использовать в виде поезда с физическим зацеплением последующих slave-вагонов, в дальнейшем система будет иметь возможность связи между другими тележками и создавать поезда по средствам протокола обмена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТР ТС 010/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования».
2. Логистические комплексы в России: инвестиции, проекты, холдинги // Инвестиционные проекты: сайт. URL: <https://investprojects.info/sectors/logistic-complexes>
3. Какое складское оборудование выбрать // Брянские новости: сайт. URL: <https://www.bragazeta.ru/news/2020/10/12/kakoe-skladskoe-oborudovanie-vybrat/>

ОБЗОР СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ НА ГУСЕНИЧНОМ ХОДУ

М.В. Шмелев, Л.М. Шамахов

Научный руководитель - **Л.М. Шамахов**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

В данной работе приведено описание видов и основных особенностей компьютерного моделирования. Выполнен обзор программных систем используемых для моделирования гусеничных машин.

Ключевые слова: *двигатель гусеничный, машина гусеничная, компьютерное моделирование, программный пакет, виртуальные испытания*

OVERVIEW OF MOBILE ROBOT CRAWLER PROPULSION MODELING SYSTEMS

M.V. Shmelev, L.M. Shamakhov

Scientific Supervisor – **L.M. Shamakhov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

This paper describes the types and main features of computer modeling. An overview of the software systems used for modeling tracked vehicles is performed.

Keywords: *crawler propulsion, tracked vehicle, computer simulation, software package, virtual tests*

Моделирование гусеничных движителей – это процесс разработки виртуальных моделей гусеничных механизмов с помощью специализированного программного обеспечения. Эти модели применяют для анализа и оптимизации производительности гусеничных движителей. Также компьютерное моделирование позволяет проводить различные тесты и эксперименты в виртуальной среде, такие как устойчивость, маневренность, сцепление с поверхностью и динамические характеристики. Это позволяет экономить время и ресурсы, которые были бы затрачены на физические испытания и помогает инженерам создавать более эффективные и надежные гусеничные механизмы.

В настоящее время существует несколько видов компьютерного моделирования используемых при разработке гусеничных движителей. Механическое моделирование учитывает физические характеристики гусениц, такие как форма и размер звеньев, способность к изгибу и де-

формации и их взаимодействие с различными поверхностями. Кинематическое моделирование применяется для исследования параметров движения гусеничных движителей, таких как скорость и ускорение, учитывая наклон поверхности и действующей нагрузки. Динамическое моделирование учитывает влияние сил и моментов, действующих на гусеницы, таких как сопротивление движению, трение и нагрузки, возникающие из-за неровности поверхности.

При выполнении компьютерного моделирования гусеничных движителей следует изучить технические характеристики гусеничного движителя, включая геометрию, материалы, нагрузки, скорости и другие параметры, которые будут влиять на его работу. Также, требуется тщательно разработать трехмерную модель гусеничного движителя, правильно подобрать материалы и их взаимодействие в различных условиях работы. В то же время, требуется корректно определить рабочие нагрузки и нагрузки, возникающие в процессе работы движителя.

Так, в работе [1] предложена методика разработки математической модели движения гусеничной машины. Авторы делают вывод, что моделирование ходовой части гусеничной машины возможно при использовании программного пакета Simcenter Amesim. Эта модель предоставляет достаточно подробную информацию и минимизирует допущения в работе систем и агрегатов, обеспечивая при этом достаточно точное математическое описание взаимодействия гусеницы с ходовой частью и опорной поверхностью.

Работа [2] посвящена исследованию возможностей моделирования динамики движения лесозаготовительных гусеничных машин с использованием программного обеспечения MSC.ADAMS. Основной задачей, решаемой в данной работе, является рассмотрение возможностей машины преодолевать неровности пути и расчет динамики движения. Результаты работы показали, что при увеличении скорости движения гусеничной машины, а также использование больших осевых шагов расположения траков и сегментов гусеничной ленты, возможно наблюдать провисание гусеницы.

Результаты компьютерного моделирования динамики двухсекционной гусеничной машины отображены в работе [3]. Как результат, была продемонстрирована эффективность использования проблемно-ориентированного программного модуля Adams Tracked Vehicle Toolkit. Применение данного модуля позволило существенно сократить время на разработку расчетной модели и практически исключить возможные ошибки, которые могли возникнуть при создании сложных расчетных моделей с большим числом упругодемпфирующих связей и контактных взаимодействий. Применение виртуального моделирования двухсекционной гусеничной машины позволило оценить нагрузки, действующие на

поворотно-сцепное устройство, что дает возможность изменять конструкцию, обеспечивая необходимую прочность и функциональность еще на стадии разработки.

Наглядные примеры виртуального эксперимента по движению гусеничной машины в разных условиях представлены в работе [4]. Использование программных пакетов, таких как UM Tracked Vehicles, позволяет создать виртуальную модель гусеничной машины и оценить необходимые характеристики. Проведение таких виртуальных испытаний является более экономически целесообразным, поскольку оно дешевле, чем физические испытания, и позволяет оценить ряд конструкций, их подвижность и выбрать наиболее эффективные.

Также, требуется выделить основные отличия факторов компьютерного моделирования гусеничных движителей мобильных роботов на электроприводе от моделирования других гусеничных машин, таких как танки, бульдозеры и т.д. При моделировании требуется учесть особенности работы электродвигателей, системы управления, включая автоматизированные алгоритмы навигации, поведение на различных видах поверхностей, а также энергопотребления и запаса хода.

В ходе работы был проведен обзор различных работ, описывающих системы компьютерного моделирования движения машин на гусеничном ходу. Выявлены основные виды компьютерного моделирования и основные отличия моделирования движения гусеничных движителей мобильных роботов на электроприводе в отличие от других гусеничных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шадрин И.Д.* Современные способы моделирования работы гусеничного движителя / И.Д. Шадрин, Д.В. Юдинцев // I Липановские научные чтения: Материалы региональной научной конференции, Ижевск, 15–16 июня 2021 года. Ижевск: Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, 2021. С. 126–131. EDN ADDWPV.
2. Динамическое моделирование движения гусеничной лесозаготовительной машины с использованием прикладных пакетов компьютерных программ / Е.Е. Клубничкин, В.Е. Клубничкин, В.М. Крылов, Д.В. Кондратюк // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2012. № 8. С. 41–47. EDN PEUVVN.
3. Сергиевский С.А. Компьютерное виртуальное моделирование динамики двухсекционной гусеничной машины // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2014. № 4(106). С. 176–182. EDN TFSLPL.
4. Моделирование движения гусеничных машин по лесным дорогам / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2016. № 1(112). С. 171–176. EDN VZDVBN.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ГРУНТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

Д.А. Шорохов, И.С. Тюремнов

Научный руководитель – **И.С. Тюремнов**, канд. тех. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В данной статье описываются особенности использования метода конечного моделирования различных грунтов в программном комплексе ANSYS. Рассмотрены основные математические модели поведения грунта из библиотеки ANSYS. А также в работе описываются ключевые факторы, влияющие на результат расчета в программе и особенности каждой модели грунта.

***Ключевые слова:** грунт, уплотнение, метод конечных элементов, программный комплекс, ANSYS, модель грунта, напряжение в грунте, уплотнение*

FEATURES OF MODELING SOIL PROPERTIES IN THE ANSYS SOFTWARE PACKAGE

D.A. Shorohov, I.S. Tyuremnov

Scientific Supervisor – **I.S. Tyuremnov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This article describes the features of using the finite soil modeling method in the ANSYS software package. The basic mathematical models of soil behavior from the ANSYS library are considered. The paper also describes the key factors influencing the calculation result in the program.

***Keywords:** soil, compaction, finite element method, software package, ANSYS, soil model, soil stress, compaction*

В настоящее время происходит интенсивное развитие информационных проектирования, позволяющих достичь высоких практических и экономических результатов в любой области промышленности.

На сегодняшний день существует более сотни различных программных комплексов, направленных на решение различные инженерных задач. Программные комплексы, можно разделить на две группы: САД-системы (Computer-Aided Design), предназначенные для автоматизации процесса проектирования, и САЕ-системы (Computer-Aided Engineering), позволяющие моделировать разнообразные физические процессы и сре-

ды. Необходимость автоматизации проектирования обусловлена требованием сокращения времени проектирования новых конструкций, что влечёт за собой экономическую выгоду без критических потерь в качестве [1].

Большинство современных САЕ-систем основано на полных математических моделях, представляющих собой системы уравнений в частных производных, решаемых с помощью методов конечных разностей, конечных объемов (МКО) и конечных элементов (МКЭ) [2, 3].

Наиболее распространённым считается метод конечных элементов (МКЭ), представляющий собой численный метод приближенного решения граничных задач техники и математической физики. В простейшей постановке в граничной задаче несколько зависимых переменных должны удовлетворять дифференциальному уравнению в известной области независимых переменных и определенным условиям, заданным на границах этой области [2, 3].

Наиболее известны САЕ-системы для решения задач проектирования и исследований строительных конструкций зданий и сооружений: ABAQUS, ANSYS, FIDESYS, SCAD, MIDAS ALE-3D, LS-DANA, PLAXIS, COMSOL и др.

На сегодняшний день ANSYS является одним из наиболее полных и эффективных по своему инструментарию программных комплексов. Программный комплекс ANSYS позволяет проводить численный анализ задач механики сплошной среды и предоставляет широкие возможности для подготовки геометрических и сеточных моделей и последующей обработки результатов расчета. Кроме того, программный комплекс основан на эффективных алгоритмах распараллеливания, что позволяет существенно сократить время расчета для ресурсоемких задач строительства.

Уплотнение грунтов является ключевой технологической операцией подготовки несущего основания для строительного объекта. Зачастую при моделировании процесса уплотнения грунтов использовались методы реологического моделирования, методы на основе уравнений механики сплошной среды, а также полумэмпирические. Данные методы не позволяют моделировать уплотнение грунта по всей толщине уплотняемого слоя с учетом наличия жесткого основания, неоднородности свойств грунта, геометрии рабочего органа, высокую скорость и частоту приложения виброударных нагрузок и др.

Программный комплекс ANSYS позволяет промоделировать уплотнения грунта различным вибрационным оборудованием при помощи МКЭ и ответить на многие вопросы, возникающие перед исследователями. На адекватность результатов моделирования влияет наличие достоверной информации о численных значениях физико-механических характеристик грунта при изменении его свойств, обоснованный выбор модели грунта, размер полигональной сетки в грунте др. Обоснование модели

грунта выполняют на основании натуральных экспериментов, что делает каждую задачу уникальной.

Основой механических моделей сплошной среды служит модель линейно-упругого тела, которая описывается линейными соотношениями между напряжениями и деформациями. В то время как для грунтов некоторые свойства (прочность, упругая нелинейность, пластичность, хрупкость, вязкость и др.) описываются нелинейными, часто дифференциальными выражениями.

Грунт является сложной многофазной структурой, его физико-механические свойства варьируются в широких диапазонах. В зависимости от действующих напряжений и характеристик грунта, при нагружении могут развиваться обратимые и необратимые объемные и пластические деформации.

Для моделирования различных материалов (грунтов) в ANSYS на сегодняшний день доступны следующие стандартные модели:

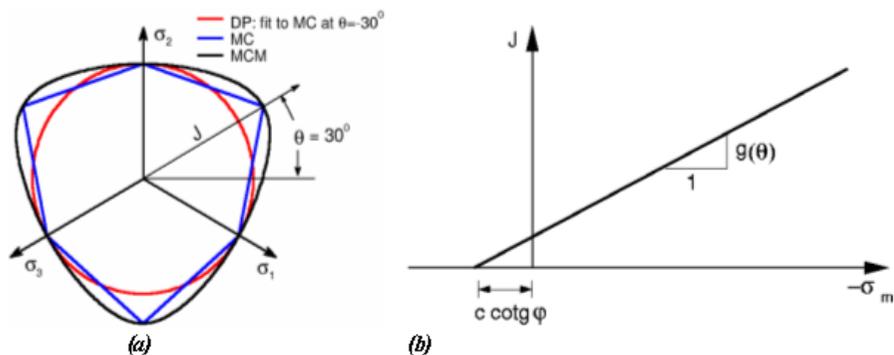
Cam-Clay;
Mohr-Coulomb;
Jointed Rock;
Drucker-Prager;
Menetrey-Willam.

Данные модели материалов характеризуются разной степенью сложности и диапазоном использования. Преимущество простых моделей заключается в меньшем количестве входных параметров, а также в простоте и ясности определяющих уравнений. Однако результаты моделирования в этом случае могут быть достаточно грубыми и плохо согласующимися с реальными данными. Сложные модели позволяют описать поведение грунта более точно, но они требуют более широкого набора характеристик грунта, а также достаточной осведомленности и опытности инженера при выборе модели грунта, обоснования численных значений используемых в выбранной модели параметров грунта и анализе адекватности полученных результатов расчетов для конкретной задачи [3].

Упругость различных грунтов характеризуется способностью восстанавливать свою форму и объем после прекращения действия нагрузки. Упругая деформация полностью исчезает после снятия нагрузки. Различают упругую линейную деформацию, прямо пропорциональную напряжению, и упругую нелинейную деформацию. Упругие свойства грунтов характеризуются модулем продольной упругости E , модулем сдвига G , модулем объемной упругости K , коэффициентом Пуассона μ . Все вышеперечисленные показатели являются коэффициентами пропорциональности между напряжениями и упругими деформациями для соответствующего вида приложенных напряжений. Для всех материалов, подчиняющихся закону Гука характерны такие явления, как упругий гистерезис и упругое последствие [4, 5].

Одной из базовых моделей сплошной среды является идеально упругопластическая модель с предельной поверхностью, определяемой критерием Mohr-Coulomb (Мора – Кулона) (рис. 1).

Данная модель требует определения всего четырех расчетных параметров: модуля общей деформации E , коэффициента Пуассона ν , сцепления c и угла внутреннего трения φ . Последние два параметра служат для определения состояния текучести. Формулировка определяющих уравнений предполагает эффективные параметры угла внутреннего трения φ_{eff} и сцепления c_{eff} .



Проекция текучести поверхности (а) девиаторной, (б) меридиональной плоскости

Рис. 1. Модель Mohr-Coulomb [4]

Критерий прочности Мора – Кулона представляет собой билинейную зависимость касательных напряжений материала от величины приложенных нормальных напряжений. Тем самым данная модель способна довольно хорошо моделировать такие виды грунтов как песок и супесь. Для других типов грунта (например, связных грунтов) данная модель неприменима, поскольку эти грунты имеют нелинейную зависимость напряжения от деформации. Другим недостатком данной модели является то, что в ней модуль деформации грунта при разгрузке и повторном нагружении равен модулю деформации грунта при первичном нагружении.

Модель Drucker-Prager, требует ввода следующих параметров: модуль упругости E , коэффициент Пуассона, угол внутреннего трения и сцепления. Последние два параметра служат для определения состояния текучести. Формулировка определяющих уравнений предполагает эффективные параметры угла внутреннего трения φ_{eff} и сцепления c_{eff} . Также должен быть указан угол растяжения.

Модель Drucker-Prager (Дрункера-Прангера) изменяет функцию текучести Мора-Кулона, чтобы избежать особенностей, связанных с углами внутреннего трения и сцепления. В отличие от модели Мора-Кулона, поверхность текучести Дрункера-Прангера гладкая и имеет участки в виде цилиндрического конуса в основном пространстве напряжений. Как и в модели Мора – Кулона, поверхность текучести в модели Дрункера-Прангера зависит от эффективного среднего напряжения σ_m . Данная версия модели Дрункера-Прангера реализованного в МКЭ основывается на предположении трехосного расширения. Другими словами, поверхность проекции текучести в девиаторной плоскости затрагивает внутренние углы шестиугольника Мора-Кулона ($\theta = -300$), где θ - угол Лоде [5]

Модифицированная модель Cam-Clay была первоначально разработана для трехосных условий нагрузки. Экспериментальные измерения на мягких глинах послужили основой для развития конститутивной модели, выражающей изменение коэффициента пористости e (объемная деформация ϵ_v) в зависимости от логарифма эффективной длины напряжения σ_{meff} .

Остальные модели в ANSYS при моделировании грунта менее подходят, поэтому практически не востребованы.

Таким образом, в результате обзора библиотеки программного комплекса ANSYS были рассмотрены наиболее популярные используемые модели грунтов и описаны их характеристики. Определена основная модель грунта (модель Мора – Кулона), которая в дальнейшем будет применяться для моделирования уплотнения песчаных грунтов виброударным оборудованием. Однако для этой модели существуют трудности учета необратимых деформаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы работы в ANSYS 17 / Н.Н. Федорова, С.А. Вальгер, М.Н. Данилов, Ю.В. Захарова. М.: ДМК Пресс, 2017. 210 с.
2. *Оголихин Д.А.* Метод конечных элементов. ЛитРес: Самиздат, 2018. 100 с.
3. *Голубев А.И.* Выбор модели грунта и её параметров в расчётах геотехнических объектов / А.И. Голубев, А.В. Селецкий // НИП-Информатика: сайт. URL: <https://www.nipinfor.ru/publications/10063/?ysclid=lui404ohcf134254935>
4. *Дидух Б.И.* Упругопластическое деформирование грунтов: монография. М.: Изд-во УДН, 1987. 166 с.
5. *Друккер Д.* Механика грунтов и пластический анализ или предельное проектирование. Новое в зарубежной механике / Д. Друккер, В. Прагер. М., 1975. Т. 2. С. 165-177.

СЕКЦИЯ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»

УДК 623.437

АВИАЦИОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С БЕСШАТУННЫМ ПРИВОДНЫМ МЕХАНИЗМОМ

А.Э. Огородников, М.С. Балунов

Научный руководитель – **М.С. Балунов**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматривается оригинальная конструкция ДВС со спаренными эксцентриками для беспилотных летательных аппаратов.

***Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, схема ДВС со спаренными эксцентриками*

AIRCRAFT INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH BRASS-FREE DRIVING MECHANISM

A.E. Ogorodnikov, M.S. Balunov

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The original design of an internal combustion engine with paired eccentrics for unmanned aerial vehicles is considered.

***Keywords:** unmanned aerial vehicles, internal combustion engine design with paired eccentrics*

Опыт проведения специальной военной операции показывает, что неотъемлемой частью ведения боевых действий является применение беспилотных летательных аппаратов. На вооружении современных воздушно-космических сил (ВКС) стоят различные образцы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА); рассмотрим конкретно один из них – «Герань-2». Данный беспилотник оснащен двухтактным четырехцилиндро-

вым двигателем рабочим объемом 550 см^3 , а мощность составляет всего 37 кВт (50 л.с.), что соответствует литровой мощности менее 70 кВт/л. На мой взгляд, в БПЛА «Герань-2» можно установить более мощный и перспективный двигатель.

Основным недостатком классических поршневых авиационных двигателей является повышенный износ цилиндропоршневой группы (ЦПГ). Это обусловлено наличием классического кривошипно-шатунного механизма (КШМ) – поршень прижимается к стенке цилиндра, возникает повышенное трение и износ ЦПГ [1].

Современные материалы и технологии двигателестроения позволяют получать литровые мощности порядка 150 кВт/л; поэтому для получения выходной мощности до 40-45 кВт (50-60 л.с), можно ограничиться рабочим объемом в $250\text{-}300 \text{ см}^3$.

В отечественной и зарубежной практике поршневого авиационного двигателестроения достаточно давно применяются бесшатунные приводные механизмы (БСМ) [2-4] (рис. 1, а).

Если применить такой механизм, в котором бы поршень просто скользил по масляной пленке, то за счет меньших потерь на трение с двигателя можно снимать более высокие показатели при том же рабочем объеме.

Рассмотрев две кинематические схемы бесшатунных механизмов [2], автором был сделан вывод о предпочтительном использовании схемы со спаренными эксцентриками, в котором звено АСВ выполнено в виде спаренных эксцентриков, а звено ОС имеет вид коленчатого вала, который по форме, кинематике и нагрузкам аналогичен коленчатым валам кривошипно-шатунных двигателей, но имеет в два раза меньший радиус кривошипов (рис. 1, б).

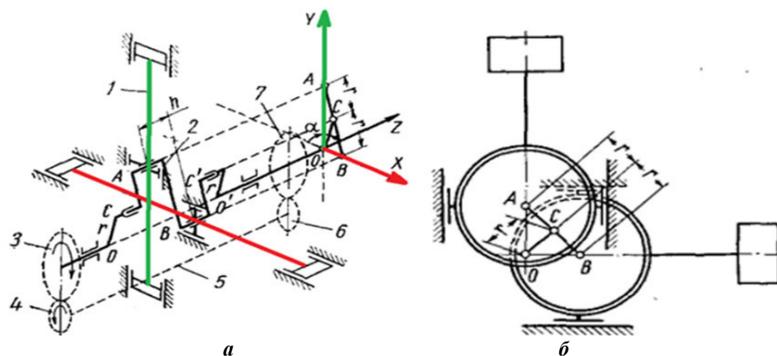


Рис. 1. Схемы БСМ:

а - бесшатунный механизм с С.С. Баландина [2];

б - механизм со спаренными эксцентриками.

При построении опытного образца ДВС с БСМ автор использовал четыре цилиндра от двигателя бензопилы «Штиль» с рабочим объемом 70 см^3 что позволило изготовить опытный ДВС с общим рабочим объемом 280 см^3 (рис. 2). Основными деталями данного механизма являются: поршневые штоки, спаренный эксцентрик, щеки коленвала и две половинки картера. Детали конструктивно простые, попарно одинаковые. На рис. 3 и 4 представлены фотографии деталей бесшатунного механизма и опытного двигателя в сборе.



Рис. 2. Цилиндропоршневая группа опытного ДВС



Рис. 3. Детали и бесшатунный механизм в сборе



Рис. 4. Опытный ДВС с бесшатунным механизмом в сборе

После изготовления и сборки ДВС с БСМ будет поставлена задача проведения натурных испытаний опытного образца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Луканин В.Н.* Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: Учебник для вузов / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян [и др.]; под ред. В. Н. Луканина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2005. 479 с.
2. *Баландин С.С.* Бесшатунные двигатели внутреннего сгорания. М.: Машиностроение. 1972. 175 с.
3. *Ворогушин В.А.* Новые бесшатунные механизмы для поршневых машин // Двигатель. 2010. № 6. URL: <http://engine.aviaport.ru/issues/72/page50.html>
4. *Седунов И.П.* Конструктивный анализ бесшатунных двигателей Баландина и пути их совершенствования // Двигателестроение. 1998. № 3 и 2000. № 1.

О ПОСТАНОВКЕ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ В РАСШИРЯЮЩЕМСЯ ТРУБОПРОВОДНОМ КАНАЛЕ

Е.М. Булин, А.В. Васильева

Научный руководитель – **А.В. Васильева**, канд. техн. наук, доцент

Рыбинский государственный авиационный технический университет
им. П.А. Соловьёва

Рассматривается построение численного эксперимента по определению и исследованию зависимости коэффициента сопротивления от скорости потока для внезапно расширяющегося трубопроводного канала. Численный эксперимент построен с помощью программного пакета AnsysCFX.

Ключевые слова: трубопроводные системы, энергетические установки, расширяющийся канал, численный эксперимент, коэффициент сопротивления

ON THE FORMULATION OF A NUMERICAL EXPERIMENT TO DETERMINE THE COEFFICIENT OF RESISTANCE IN AN EXPANDING PIPELINE CHANNEL

E.M. Bulin, A.V. Vasilyeva

Scientific supervisor – **A.V. Vasilyeva**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov

The construction of a numerical experiment to determine and investigate the dependence of the resistance coefficient on the flow velocity for a suddenly expanding pipeline channel is considered. The numerical experiment was built using the AnsysCFX software package.

Keywords: pipeline systems, power plants, expanding channel, numerical experiment, resistance coefficient

Исследование гидрогазодинамики трубопроводных систем различных энергетических установок позволяет выявить возможные проблемы, такие как турбулентность потока, образование вихрей или налеты на стенках трубы, и предпринять меры по их устранению.

Одной из актуальных проблем является расчет гидравлических потерь [1]. Местные потери напора – это потери, обусловленные местными гидравлическими сопротивлениями, то есть такими элементами трубопроводов, в которых вследствие изменения поперечных размеров или конфигурации происходит деформация потока. Всякая перестройка структуры потока связана с появлением дополнительных касательных напряжений, причиной которых являются возникающие в потоке дополнительные вихреобразования. Местные потери энергии имеют ту же физическую природу, что и потери по длине – это результат преобразования части механической энергии в тепловую за счет преодоления касательных напряжений трения.

На практике часто необходимо рассчитать местные потери напора и коэффициент местного сопротивления. Количество напора, затраченного на преодоление какого-либо местного сопротивления, называется коэффициентом местного сопротивления ξ (КМС). Коэффициент местного сопротивления зависит в основном от формы местного сопротивления и его геометрических размеров.

Требуется построить численный эксперимент по определению коэффициента сопротивления для внезапно расширяющегося трубопроводного канала. Исследовать зависимость КМС от скорости течений в трубопроводе. Диаметр канала до расширения 40 мм, после 80 мм. Длина узкой части трубопровода 120 мм, широкой 240 мм.

Численный эксперимент будем строить с помощью программного пакета AnsysCFX, используемого для моделирования и анализа поведения жидкостей и газов в технических системах [2]. Для проведения расчета необходимо:

1. Подготовить геометрию трубопровода;
2. Создать поверхностную сетку геометрии;
3. Задать граничные условия расчета.

Подготовка геометрии осуществлялась в САПР «КОМПАС-3D» [3]. Трубопровод представляет собой тело вращения.

Для дальнейшей работы необходимо сохранить геометрию в формате STEP (.stp) или Parasolid (.x_t).

Построение сетки является неотъемлемой частью методов компьютерного моделирования, таких как метод конечных элементов (МКЭ) и вычислительная гидродинамика (CFD). Поверхностные сетки дискретизируют непрерывное геометрическое пространство на математически определенные формы. Эта дискретизация позволяет компьютерам численно решать лежащие в основе управляющие уравнения и моделировать физические явления и процессы. Качество сетки – это безразмерный коэффициент, показывающий, насколько каждый ее элемент по форме близок к идеальной форме. Оно влияет на точность, сходимость и скорость

процесса моделирования. Он варьируется от 0 до 1. Приемлемым является значение выше 0,15.

Программное обеспечение ICEMCFD нацелено на создание структурированных сеток высокого качества [4]. Была построена блочная структурированная сетка (рис. 1) с минимальным качеством элементов 0,7 и количеством 4218716. Эти значения являются приемлемыми.

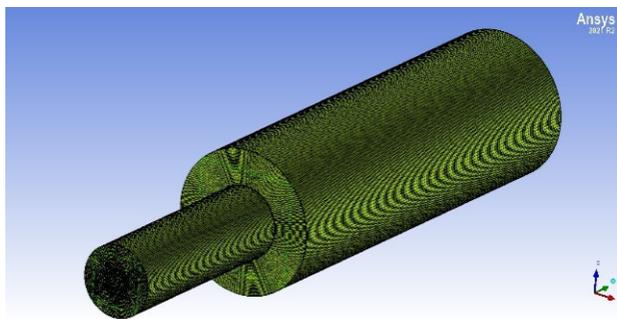


Рис. 1. Поверхностная сетка

ICEMCFD позволяет описать регионы геометрии. Был задан вход (Inlet) на узком канале и выход (Outlet) на широком канале трубопровода.

Загрузим сетку в программный пакет AnsysCFX. Данное программное обеспечение позволяет задать граничные условия. Во вкладке “Default Domain” можно задать вещество, проходящее через трубопровод. В нашем расчете будут использованы воздух при 25 °С и вода.

В расчете используется модель турбулентности $k - \epsilon$. Эта модель является наиболее широко используемой и проверенной моделью турбулентности для различных применений – от промышленных до экологических потоков, что объясняет ее популярность.

На вход была задана скорость потока перед препятствием. Будет проведен расчет для разных значений скорости. На выход задано атмосферное давление 101325 Па.

Программный пакет AnsysCFX позволяет представить результаты расчета в виде контуров, линий тока, графиков и т.д. Приведем пример результатов для начальной скорости 5 м/с (рис. 2 и 3).

Вкладка «Functioncalculator» позволяет вычислить значения газодинамических функций в любой области трубопровода. Выберем области входа и выхода.

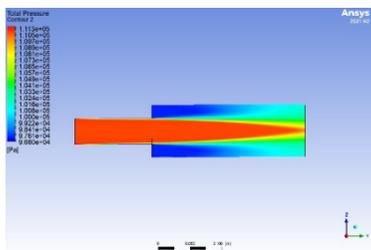


Рис. 2. Контур распределения давления в трубопроводе

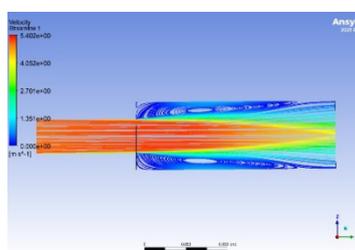


Рис. 3. Контур скорости и линии тока

Оформим результаты расчетов в виде таблиц.

Таблица 1. Расчет течения воздуха в трубе с внезапным расширением

Скорость перед сопротивлением, м/с	1	5	10	15	20
Давление на входе, Па	101336	101362	101407	101467	101551
Давление на выходе, Па	101328	101330	101335	101340	101355
КМС	0,543	0,543	0,543	0,542	0,539

Таблица 2. Расчет течения воды в трубе с внезапным расширением

Скорость перед сопротивлением, м/с	0,05	0,01	0,15	0,2	0,25
Давление на входе, Па	101325,7	101328,8	101333,3	101339	101347
Давление на выходе, Па	101325	101326	101327	101328	101330
КМС	0,56	0,56	0,56	0,55	0,544

Из расчета видно, что с увеличением скорости потока значения КМС уменьшаются, причем для воды эти изменения более наглядны.

Для предотвращения аварийных ситуаций и обеспечения безопасной работы трубопроводов необходимо знать параметры и процессы, проходящие в них, поэтому исследование местного сопротивления трубопроводов является актуальным и важным направлением в гидравлике и гидрогазодинамике, влияющим на эффективность и надежность работы трубопроводных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лысенко В.С.* Технология снижения гидравлических потерь в напорных трубопроводах // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 3. С. 59-61
2. ANSYS CFD // Гидравлика: Сайт о гидравлике. URL: https://techgidravlika.net/view_post.php?id=60 (дата обращения: 01.03.2024)
3. Знакомство // КОМПАС-3D. URL: <https://kompas.ru/kompas-3d/about/> (дата обращения: 01.03.2024).
4. ANSYS ICEM CFD // CAE Expert. URL: <https://cae-expert.ru/product/ansys-icem-cfd> (дата обращения: 01.03.2024).

ОСОБЕННОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

Д.Д. Давыдова, А.В. Рябчик, А.Е. Савенко

Научный руководитель – **А.Е. Савенко**, канд. тех. наук, доцент

Керченский государственный морской технологический университет

Рассматривается добыча и преобразования электроэнергии с помощью возобновляемых источников, а именно энергии волн. Так же представлены преимущества и недостатки данного способа, особенности в работе и перспективы развития. Проведен сравнительный анализ наиболее благоприятных районов Российской Федерации для постройки волновых электростанций.

Ключевые слова: волновая станция, энергия волн, возобновляемые источники энергии, добыча электроэнергии, преобразование энергии

FEATURES OF WAVE ENERGY CONVERSION TO ELECTRIC ENERGY

D.D. Davydova, A.V. Rjabchik, A.E. Savenko

Scientific Supervisor - **A. E. Savenko**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Kerch State Maritime Technological University

The extraction and conversion of electricity using renewable sources, namely wave energy, is considered. The advantages and disadvantages of this method, features in operation and development prospects are also presented. A comparative analysis of the most favorable regions of the Russian Federation for the construction of wave power plants was carried out.

Keywords: wave station, wave energy, renewable energy sources, energy extraction, energy conversion

На протяжении десятилетий человек пытается найти способы получить «чистую» электроэнергию с помощью возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Волны морей и океанов имеют огромный потенциал для добычи такого ресурса. Плотность морских волн гораздо выше плотности солнечного излучения или ветра, что позволяет приобрести

более качественную энергию. Потенциал данного способа огромен и изучен менее всех других, что создает основу для рассмотрения и генерирования идей для его развития [1].

Мировой океан создает энергию благодаря приливам, течениям, ветровым волнам и штормам. Но всего лишь небольшая доля этого ресурса сейчас используется, в основном сила приливов. Построенные на данный момент волновые станции находятся возле берега, в местах закрытых от производственной сферы. Но в скором будущем, такой способ будет применяться гораздо чаще и увереннее.

Потенциальная и кинетическая энергия – две главные составляющие морского ресурса. При достаточно небольшой глубине большей длины волны, частицы воды будут перемещаться по круговой траектории. Таким образом, чем больше глубина, тем меньше линия перемещения. Но один вектор скорости частиц воды, который расположен на краю волны будет направлен в сторону её движения, а другой вектор, находящийся между волнами будет направлен противоположно её движению. Потенциальная энергия будет зависеть от вертикального перемещения частиц воды относительно среднего уровня, а кинетическая в свою очередь, от скорости данных частиц. Для получения хорошего результата и продуктивной работы, волновая станция должна получать эти энергии, которые в свою очередь должны друг друга уравновешивать [2].

Волновые электростанции устанавливают ближе к берегу, так как потенциал волн в этих местах достаточно высок. Движение воды стабильно и профили волн мягкие, что обеспечивает более качественные ресурсы для дальнейшего использования [3].

Рассмотрим волновой преобразователь Pelamis, расчётная мощность которого составляет 750 кВт (рис. 1).



Рис. 1. Волновые преобразователи Pelamis

Он состоит из четырех последовательно соединенных цилиндров, которые в зависимости от состояния воды меняют своё угловое положение относительно друг друга. В соединениях данной конструкции находятся гидроцилиндры, которые при изменении положения подают рабочую жидкость на гидродвигатель, вращающий электрогенератор. Но недостаток электростанции заключается в том, что она использует только потенциальную энергию волны, так как при изменении скорости параметры не изменяются. Также часть конструкции цилиндров постоянно находится в воде, что приводит к уменьшению надежности работы станции [4].

Российские регионы для успешного развития волновых электростанций должны иметь сильные ветра и прибой, которые бы развивали огромный потенциал. Но не все побережья страны подходят для их постройки, так как не имеют таких природных факторов, либо сложно осваиваются из-за географической доступности или инфраструктуры.

Каспийское море считается одним из буйных водных источников. Образование волн во многом зависит от сильных штормовых ветров, которые идут с севера и юга, имея огромный разгон, а также из-за большой протяженности водоёма. Лучшим временем для образования таких волн является осень и зима, так как именно в этот сезон особенно интенсивны штормовые процессы и в связи с мелководностью волнение быстро развивается при 15-20 м/с.

Для волнового климата Балтийского моря характерны повышенная штормовая активность в осенне-зимние месяцы, высокая пространственная и временная неоднородность ветровых волн и преобладание относительно коротких и крутых волнений. Среднегодовая значительная высота волн в Балтийском море достигает 1,2–1,3 м, средний поток энергии составляет 7-8 кВт/м. Однако существует большой интерес к изучению потока энергии волн в Балтийском море, поскольку развитые страны имеют доступ к нему, и в этом районе сосредоточено большое количество потенциальных потребителей энергии.

Климатические условия Охотского моря наиболее перспективные для постройки волновой станции, так как средняя мощность волнений в прибрежных районах составляет до 40 кВт/м, а также имеются протяженные участки, которые не захвачены льдом, вдоль которых можно построить такие станции.

Во многих странах волновые станции используются уже сейчас и имеют большие успехи в добыче энергии. Данный ресурс никогда не исчерпает себя и даст возможность получения энергии непрерывно. Преимущества таких станций в их низкой себестоимости и длительном эксплуатационном сроке, а недостатки заключаются в малой мощности получаемой энергии, а также их зависимости от погодных условий. Для

добычи электроэнергии волновым способом необходимо учитывать удельную мощность и высоту волн для результативного использования возобновляемого ресурса. В нашей стране самыми благоприятными местами для строительства станций являются Курильские острова и Дальний Восток.

Главной задачей инженеров при создании волновой электростанции является усовершенствование конструкций и уменьшение габаритов для снижения себестоимости электроэнергии. Перспектива развития волновых станций может быть достигнута только путём тщательной и качественной проработки функциональных элементов. Таким образом, необходимо улучшить параметры станции в соответствии с реальными требованиями на месте эксплуатации для создания эффективных и надежных волновых электростанций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *А. да Роза*. Возобновляемые источники энергии: пер. с англ. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. 704 с.
2. *Волшаник В.В.* Энергия морских ветровых волн и принципы ее преобразования / В.В. Волшаник, Г.В. Матушевский // Гидротехническое строительство. 1985, №4. С. 41-45.
3. *Сеньков А.П.* Преобразование энергии ветровых волн в электрическую энергию / А.П. Сеньков, А.А. Сеньков // Морские интеллектуальные технологии. 2020. № 1-3(47). С. 87-92.
4. *Глоткина Л.А.* Преобразователь волновой энергии // Новые технологии в учебном процессе и производстве: Материалы XXI Международной научно-технической конференции, Рязань, 12–14 апреля 2023 года / под ред. А.Н. Паршина. Рязань: Рязанский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Московский политехнический университет", 2023. С. 192-193.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СМАЗКИ БЕЗОСЕВОГО
ТОЛКАТЕЛЯ ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО
ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ COMMON RAIL**

М.С. Ладыгин, А.П. Перепелин

Научный руководитель - **А.П. Перепелин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Данная статья посвящена математическому моделированию гидродинамической смазки безосевого толкателя топливного насоса высокого давления аккумуляторной топливной системе дизеля типа CommonRail.

***Ключевые слова:** дизель, топливный насос высокого давления, безосевой толкатель, ролик, кулачок, гидродинамическая смазка, минимальная толщина смазочного слоя, смазочный материал*

**MATHEMATICAL MODELING OF HYDRODYNAMIC
LUBRICATION WITHOUT AXIAL PUSHROD
OF THE HIGH-PRESSURE FUEL PUMP
FOR A COMMON RAIL FUEL SYSTEM**

M.S. Ladygin, A.P. Perepelin

Scientific Supervisor - **A.P. Perepelin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University.

This article is devoted to the mathematical modeling of hydrodynamic lubrication without an axial pushrod of a high-pressure fuel pump in a Common Rail diesel fuel system.

***Keywords:** diesel, high pressure fuel pump, without axial pushrod, roller, cam, hydrodynamic lubrication, minimum thickness of the lubricating layer, lubricant material*

Применение в топливных насосах высокого давления (ТНВД) систем Common Rail безосевого толкателя (рис. 1), в котором ось и ролик являются одной деталью, позволяет увеличить длину линии контакта ро-

лик-кулачок и уменьшить контактные напряжения. Учитывая длительную продолжительность нагнетания топлива плунжером, необходимо жидкостное трение между корпусом толкателя и роликом, чтобы обеспечить работоспособность толкателя при действии высоких нагрузок. Безосевой толкатель фактически является неполно охватываемым (половинным) подшипником, погруженным в смазывающую жидкость. Теория гидродинамической смазки хорошо разработана, но в основном рассматриваются задачи смазки полно охватываемых подшипников с подводом масла в ненагруженную часть подшипника. Основной величиной, определяемой при расчете подшипника, является минимальный зазор (минимальная толщина масляной пленки) h_{\min} между трущимися деталями, который должен быть больше сумм высот микронеровностей контактирующих поверхностей. Этот зазор зависит от геометрических размеров подшипника и вала, а также от вязкости смазывающей жидкости.

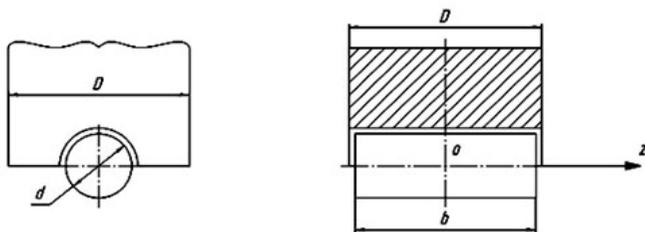


Рис. 1. Схема безосевого толкателя

При анализе условий смазки целесообразно обратиться к методам подобия. Если записать уравнения гидродинамической смазки в безразмерных переменных, то можно получить условия подобия смазки

$$\xi = \frac{h_{\min}}{\Delta} = f\left(\frac{\mu \cdot U \cdot d^2 \cdot b}{F \cdot \Delta^2}, \frac{b}{d}\right),$$

где ξ — относительная минимальная толщина масляной пленки h_{\min} ; Δ — радиальный зазор; μ — коэффициент динамической вязкости смазочной жидкости; U — скорость на поверхности ролика; d — диаметр ролика; b — ширина ролика; F — сила, действующая на ролик.

При этом необходимо обеспечить условие геометрического подобия $b/d = \text{const}$. Если диаметр толкателя D задан, то величины d и b будут взаимосвязаны условием размещения ролика в окружности диаметром несколько меньшим диаметра толкателя. Скорость U определяется размерами и частотой вращения кулачка n . Поэтому при действующей силе

F основными параметрами, определяющими величину h_{\min} , будут радиальный зазор Δ , диаметр ролика d и вязкость μ .

Нагрузка на ролик толкателя ТНВД переменна по величине и направлению, т.е. режим смазки является нестационарным. При этом ось отверстия в толкателе под ролик движется в пределах зазора по замкнутой траектории, зависящей от нагрузки и частоты вращения вала. Для определения h_{\min} была разработана методика и программа расчета нестационарного режима смазки, учитывающая зависимость вязкости от давления и температуры и возникновение кавитации в смазочном слое. Были выполнены расчеты условий смазки применительно к ТНВД типа СР-4 с диаметром плунжера 6,5 мм, ходом 5,25 мм, диаметром ролика $d = 12$ мм и шириной $b = 26$ мм при давлении в аккумуляторе 180 МПа, цикловой подаче 100 мм^3 , частоте вращения кулачка $1000\text{--}3000 \text{ мин}^{-1}$.

Из полученной расчетом диаграммы положения центра отверстия в толкателе под ролик в относительных единицах (когда значения эксцентриситета $e = \Delta - h_{\min}$ отнесены к величине радиального зазора Δ), видно, что при положениях, соответствующих максимальным нагрузкам при $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$, относительный эксцентриситет $\varepsilon = e/\Delta$ при увеличении зазора до 25 мкм приближается к $\varepsilon = 1$ (рис. 2, а). То есть толщина слоя смазки уменьшается. При принятом значении шероховатости поверхностей ролика и отверстия в толкателе Ra 0,08 мкм высота неровностей будет равна Rz 0,4 мкм. Поэтому минимальный зазор должен быть больше 0,8 мкм.

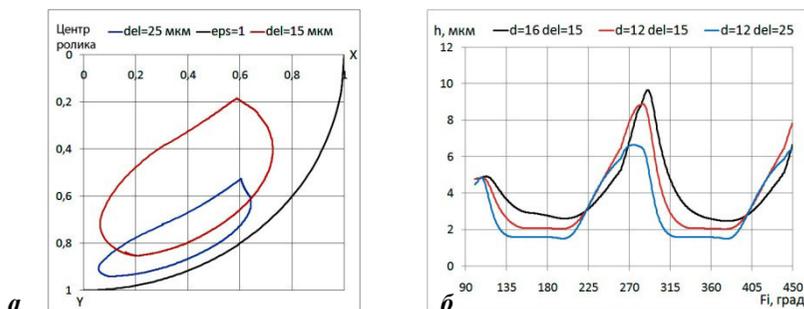


Рис. 2. Параметры смазки маслом:

а – траектория движения центра отверстия толкателя под ролик при $\Delta=15$ мкм и $\Delta=25$ мкм в относительных единицах; б – зависимость h_{\min} от угла поворота кулачка при $\Delta = 15$ мкм, $\Delta = 25$ мкм и $d = 12$ мм и при $\Delta = 15$ мкм и $d = 16$ мм

Увеличение h_{\min} достигается уменьшением Δ и увеличением d . Толщина масляной пленки изменяется при повороте кулачка (рис. 2, б) вследствие изменения силы F . При смазке маслом для ролика с $d = 12$ мм наименьшее значение толщины слоя смазки равно $h_{\min} = 2,04$ мкм при

радиальном зазоре $\Delta = 15$ мкм и $h_{\min} = 1,50$ мкм при $\Delta = 25$ мкм. То есть на номинальном режиме имеется запас по h_{\min} , но с уменьшением частоты вращения кулачка вследствие снижения частоты вращения ролика h_{\min} уменьшится (рис. 3, а). Поэтому при $n < 1500$ мин⁻¹ давление в аккумуляторе должно быть меньше 180 МПа. Можно увеличить h_{\min} до 2,48 мкм ($n = 3000$ мин⁻¹) путем применения ролика с $d = 16$ мм. При этом потребуются уменьшить ширину ролика с 26 мм до 23,8 мм (см. рис. 2, б и 3, а).

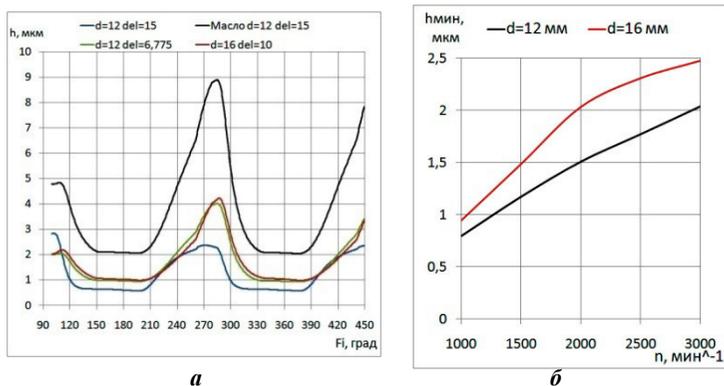


Рис. 3. Параметры смазки:

а – зависимости h_{\min} от частоты вращения кулачка при $d = 12$ мм и $d = 16$ мм ($\Delta = 15$ мкм); б – зависимости h_{\min} от угла поворота кулачка при смазке маслом ($d = 12$ мм, $\Delta = 15$ мкм) и топливом при $d = 12$ мм ($\Delta = 15$ мкм и $\Delta = 6,775$ мкм) и при $d = 16$ мм ($\Delta = 10$ мкм)

Для смазки ТНВД АТС применяют также дизельное топливо. Его вязкость в ~ 5 раз меньше вязкости масла. Поэтому при смазке топливом при $\Delta = 15$ мкм h_{\min} будет в $\sim 3,5$ раза меньше, чем при смазке маслом и равно 0,57 мкм (рис. 3, б), что значительно меньше суммы высот неровностей (0,8 мкм) и режим гидродинамической смазки будет отсутствовать даже при $n = 3000$ мин⁻¹. Если уменьшить Δ в $\sqrt{5} \approx 2,2$, то получим подобные условия смазки жидкостями разной вязкости. При этом зазор при смазке топливом должен быть равен $\Delta = 15/2,2 = 6,775$ мкм. Относительная толщина масляной пленки $\xi = h_{\min}/\Delta$, будет одинаковой, но для топлива реальное значение h_{\min} будет в 2,2 раза меньше и равно примерно 1 мкм (см. рис. 3, б). Но, уменьшать Δ до 6,775 мкм нецелесообразно, так как усилится влияние неровности контактирующих поверхностей на величину h_{\min} . Можно увеличить h_{\min} до ~ 1 мкм путем увеличения диаметра d до 16 мм при $\Delta=10$ мкм (см. рис. 3, б), но этого недостаточно. Требуется существенное увеличение диаметра толкателя.

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ СЕРИИ 4310

А.А. Мишин, М.С. Фонарёв, С.Г. Кондаков

Научный руководитель – **С.Г. Кондаков**, преподаватель

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются причины возникновения неисправностей и способы ремонта и технического обслуживания автомобилей КамАЗ-4310

***Ключевые слова:** техническое обслуживание и ремонт топливной аппаратуры двигателей, неисправности топливной аппаратуры*

MAIN CAUSES OF FUEL EQUIPMENT MALFUNCTIONS IN KAMAZ-4310 SERIES VEHICLES

A.A. Mishin, M.S. Fonarev, S.G. Kondakov

Scientific Supervisor – **S.G. Kondakov**, Teacher

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The causes of malfunctions and methods of repair and maintenance of KamAZ-4310 vehicles are considered.

***Keywords:** maintenance and repair of fuel equipment, fuel equipment malfunctions*

Автомобили КамАЗ зарекомендовали себя как надежные, мощные и проходимые грузовики, многие страны используют их во всех сферах деятельности. Надежность испытывается временем. Наши грузовики используются в зонах проведения боевых действий и работают на износ, а это означает что, потребитель автомобилей может быть уверен в том, что продукция Камского автомобильного завода крайне надежная и даже на грани серьезной поломки, выполнит поставленную перед ней задачу.

Несмотря на все плюсы данной продукции автомобили КамАЗ семейства «Мустанг», имеют и недостатки, вызванные тяжелыми условиями эксплуатации, приводящими к поломкам, в том числе и топливной

аппаратуры, конкретно в нашем случае – топливного насоса высокого давления. На двигателях автомобилей КамАЗ установлены ТНВД V-образного типа, основными неисправностями которых являются:

- загрязнение внутренней части механизмов ТНВД;
- увеличение зазоров в подвижных соединениях;
- потеря коэффициента жесткости возвратной пружины рычага останова;
- неравномерность подачи топлива в цилиндры двигателя [2].

Эти неисправности характерны для моделей двигателей КамАЗ–740, и можно предположить, что вызваны они в основном из-за отсутствия ТО-0 после проведения обкатки нового автомобиля и достаточного ЕТО. В работе уделяется внимание основным регламентам технического обслуживания, присущие автомобилям КамАЗ–4310, обеспечивающим безотказную работу топливной аппаратуры двигателя.

Представленные ниже этапы технического обслуживания, присущи только для автомобилей КамАЗ, в том числе и для моделей 4310. Поддержание машин в установленной степени готовности к использованию по назначению является этапом их эксплуатации, в течение которого осуществляется комплекс работ, установленных в эксплуатационной и ремонтной документации и направленных на поддержание машин в готовности к выполнению поставленных задач. В основу поддержания машин в готовности к использованию по назначению положена система ТО и ремонта. Проведение ТО-0 и качественного ЕТО обуславливается тем, что это мероприятия, которые отдают проведение крупных ремонтов и замену агрегатов, выходящих из строя. Данные мероприятия в основном включают в себя протяжку всех резьбовых соединений и частичную замену жидкостей, так как в процессе обкатки происходит притирка механизмов, вследствие чего образуется металлическая стружка, которая скапливается в картере. В дальнейшем стружка попадает в каналы и фильтры, тем самым засоряя их. Это вызывает необходимость замены и чистки фильтрующих элементов топливных фильтров. Также ослабляется и затяжка резьбовых соединений. Своевременное проведение ТО-0 может продлить, в дальнейшем, ресурс агрегатов топливной аппаратуры.

Техническое обслуживание автомобилей (и автопоездов КамАЗ) подразделяется на следующие этапы:

- техническое обслуживание в начальный период эксплуатации;
- техническое обслуживание в основной период эксплуатации.

В начальный период эксплуатации автомобиля выполняются следующие виды технического обслуживания;

- ежедневное техническое обслуживание (ЕТО);
- техническое обслуживание ТО-1000;
- техническое обслуживание ТО-4000.

Техническое обслуживание в основной период эксплуатации подразделяется на следующие виды:

ежедневное техническое обслуживание (ЕТО);

техническое обслуживание №1 (ТО-1);

техническое обслуживание №2 (ТО-2);

сезонное техническое обслуживание (СТО).

Целью данной работы является анализ возникновения неисправностей топливной системы двигателей КамАЗ-740. Основным направлением исследования является - полный разбор и анализ системы питания автомобилей КамАЗ семейства «Мустанг». Последовательность технического обслуживания описана в источниках [3] и [4], а также в источнике [1] указаны принципы оптимизации технического обслуживания ТНВД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обеспечение малотоксичного рабочего процесса. URL: <http://www.science-education.ru/111-10237>. (дата обращения 10.03.2024).
2. *Титурин Б.А.* Ремонт автомобилей КамАЗ / Б.А. Титурин, Н.Г. Старостин, В.М. Мушниченко. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Агропромиздат. 1991. 320 с.
3. *Шилова С.Л.* Ремонт автомобилей КамАЗ: учебное пособие для ПТУ / С.Л. Шилова, Р.Н. Егорова, Л.И. Смагина. М.: Машиностроение, 1991. 246 с.
4. *Трынов В.А.* Автомобили КамАЗ типа 6Х4 / В.А. Трынов, Р.А. Азаматов, М.: Машиностроение, 1991. 335 с.

УДК 621.444

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГАЗОТУРБОСТРОЕНИЯ В РОССИИ

М.С. Новоселова, Г.Р. Мингалеева

Научный руководитель – **Г.Р. Мингалеева**, д-р техн. наук, доцент

Казанский государственный энергетический университет

Рассматривается состояние современного рынка энергетических газотурбинных двигателей и газоперекачивающих агрегатов, диапазон их мощностей и эффективности.

Ключевые слова: газотурбинные двигатели, энергетические двигатели, газоперекачивающие агрегаты

THE CURRENT STATE OF GAS TURBINE CONSTRUCTION IN RUSSIA

M.S. Novoselova, G.R. Mingaleeva

Scientific Supervisor – **G.R. Mingaleeva**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Kazan State Power Engineering University

The state of the modern market of energy gas turbine engines and gas pumping units, the range of their power and efficiency are considered.

Keywords: gas turbine engines, power engines, gas pumping units

Согласно «Энергетической стратегии России на период до 2035 г.» [1], планируется разработка и запуск в серийное производство газотурбинных установок, электрическая мощность которых будет 160 МВт и более. С целью определения текущего уровня достижения поставленной Энергетической стратегией задачи производился анализ модельного ряда российских производителей газотурбинных двигателей и установок. Дополнительной целью являлось рассмотрение диапазона мощностей отечественных ГТУ и их способность заменить иностранные установки на существующих объектах генерации.

Основными производителями энергетических газотурбинных установок (ГТЭУ) и газоперекачивающих агрегатов (ГПА) в настоящий

момент являются: АО «КМПО», ОДК «УМПО», «ОДК-Сатурн», «ОДК-Кузнецов», «ОДК-Пермские моторы», «ОДК-Газовые турбины», «Силовые машины» (табл. 1).

Таблица 1. Модельный ряд российских производителей ГТЭУ и ГПА

Наименование	Мощность N_e , МВт	КПД, %	Наименование	Мощность N_e , МВт	КПД, %
АО «КМПО»			АО «ОДК-Газовые турбины»		
НК-16 СТ	16	29	ГТА-6РМ	6	23,1
НК-16-18 СТ	18	31	ГТА-8РМ	8	24,3
НК-38 СТ	16	38	ГТА-8М/1	8	32,9
ОДК «УМПО»			ГТА-10ГТ	9,65	34,5
АЛ-31СТ	16	35,5	ГТА-16	16	35
АЛ-41СТ-25	25	39,1	ГТА-25ГТ	22,5/25	36,5/36,8
ПАО «ОДК-Кузнецов»			ГПА-4РМ	4	32,5
НК-12СТ	6,3	26,1	ГПА-4РМП	4	32,5
НК-14СТ-8	8,6	32	ГПА-10	10	32
НК-14СТ-10	10,6	34	ГПА-16	16	36,3
НК-36СТ	25	36	ГТН-16Р	16	35,5
АО «ОДК-Пермские моторы»			АО «Силовые машины»		
ГТУ-2,5П	2,6	21,8	ГТЭ-65	67,7	36,2
ГТУ-12ПГ-2	12,3	32,6	ГТЭ-170.1	155,3	34,1
ГТЭ-16ПА	16,3	35,5	ГТЭ-170.2	170	35,1
ГТЭ-25П	23	36,7	ПАО «ОДК-Сатурн»		
ГТЭ-25ПА	25,6	37,2	ДО49Р	2,85	28
ГТУ-4ПГ	4,3	24,2	ГТД-6РМ	6,38	24,8
ГТУ-6ПГ	6,1	27,37	ГТД-8РМ	8,44	25,5
ГТУ-10П	10,2	31,9	ГТД-110М	118	36
ГТУ-12П	12,4	34,6	ГТД-4РМ	4,14	32,5
ПД-14ГП-1	12,3	37,2	ГТД-6,3РМ	6,45	32,5
ПД-14ГП-2	16,4	39,5	ГТД-6,3РМ/8	8,38	34,5
ГТУ-16П	16,5	37	ГТД-10РМ	10,16	35,5
ГТУ-25П	25,6	39,2	ГТД-10РМЭ	10,24	35,5

Выпуском газоперекачивающих агрегатов занимаются: АО «КМПО», ОДК «УМПО». Продукция «КМПО» представляет собой одно-вальные двигатели, включающие в себя два компрессора (низкого и высокого давлений), камеру сгорания и три турбины (высокого и низкого давления, свободную силовую турбину). Также представленные модели могут применяться в качестве энергетических установок [2]. Кроме газоперекачивающих агрегатов «УМПО» производит детали и узлы для двигателей ВК-650В и ВК-1600.

Предприятия АО «ОДК-Пермские моторы», АО «ОДК-Газовые турбины» и ПАО «ОДК-Сатурн» производят как ГПА, так и промышленные газотурбинные установки. «Пермские моторы» занимаются производством авиационных двигателей ПС-90А и ПД-14, а также газотурбинных двигателей для энергетики и транспорта газа на базе газогенераторов Д-30 и ПС-90, наименования которых указаны в табл. 1. «Газовые турбины» выпускают не только энергетические и газоперекачивающие установки, но и занимаются строительством теплоэлектростанций и парогазовых установок, основанных на ГТЭУ, а также производством нестандартного оборудования атомной промышленности. «Сатурн» производит авиационные ГТД АЛ-55 и семейства Д-30КУ/КП. Кроме того, выпускаются промышленные и морские газовые турбины и основанные на них агрегаты, среди которых, помимо перечисленных в табл. 1, Е70/8РД и СГТГ-8 [3].

В свою очередь, «Силовые машины» выпускают только энергетические газотурбинные двигатели. В общем, предприятие занимается разработкой и производством различного оборудования для атомной, тепловой и гидроэнергетики. В состав выпускаемого оборудования входят паровые турбины и котлы для ТЭС и АЭС, гидротурбины и гидрогенераторы, электрогенераторы и двигатели, электроприводы и прочее. К новейшим разработкам относятся газовые турбины ГТЭ-170.1, серийное производство которой запущено в 2023 году, и ГТЭ-170.2, серийные поставки которой запланированы на 2026 год. Также запуск в опытно-промышленную эксплуатацию предполагается для турбины ГТЭ-65 в 2024 году [4].

Из проведенного анализа видно, что на современном российском рынке промышленные газотурбинные установки имеют мощности в основном 4-16, мощность некоторых ГТУ превышает 20 МВт, а их коэффициент полезного действия находится в диапазоне от 21 до 39 %. К настоящему моменту на рынке имеются ГТУ мощностью более 100 МВт, произведенные предприятиями ОДК-Сатурн и «Силовые машины», причем газовая турбина ГТЭ-170.2 превышает установленную Энергетической стратегией мощность в 160 МВт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства РФ № 1523-р от 09.06.2020 г. «Об утверждении Энергетической стратегии России на период до 2035 года».
2. Казанское моторостроительное производственное объединение. URL: <http://www.kmpro.ru> (дата обращения: 10.02.2024)
3. Объединенная двигателестроительная корпорация. URL: <https://www.uecrus.com> (дата обращения: 10.02.2024).
4. Силовые машины. URL: <https://power-m.ru> (дата обращения: 10.02.2024)

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ВС РФ**

Р.Г. Теймуров, М.С. Балунув

Научный руководитель – **М.С. Балунув**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются перспективы использования дизельных двигателей в вооружении и военной технике ВС РФ.

***Ключевые слова:** дизель, двигатели, вооружение и военная техника*

**PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT
OF DIESEL ENGINES IN THE ARMED FORCES
OF THE RUSSIAN FEDERATION**

R.G. Teymurov, M.S. Balunov

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The prospects of using diesel engines in weapons and military equipment of the Armed Forces of the Russian Federation are considered.

***Keywords:** diesel, engines, weapons and military equipment*

Дизельные двигатели легко ассимилируются в народном хозяйстве при создании дизель-электростанций, судовых двигателей, вспомогательных судовых двигателей и т.п. В производстве современного двигателя В-92С2 используется значительное количество заимствованных узлов и деталей с ранее выпускавшихся марок двигателей В-55В, В-46-6, В-84 и т.д. Это упрощает и удешевляет его производство, отработку технологии, поставку запчастей в армию, развертывание дополнительного производства двигателей в мобилизационный период времени. Всех этих качеств ГТД лишен. В настоящее время большинство военной техники мира – танки, военные корабли, подлодки, автомобили и др. оснащены дизельными силовыми установками.

Дизельные двигатели в морском флоте ВС РФ. Строительство двигателей для военных кораблей океанской и морской зоны является одной из ключевых технологий – любой современной военно-морской флот (ВМФ) немислим без надежных, мощных и эффективных силовых установок. Серийное производство двигателей для корветов и фрегатов во многом определяет дальнейшие перспективы и направления модернизации ВМФ.

Так на финишную прямую выходит долгожданная разработка новейшего российского двигателя «Пульсар», которую ведет флагман отечественного дизелестроения – завод «Звезда». Одной из его новаций является всеприменимость. Первоначально при создании двигателя ставилась задача его эффективного использования в различных отраслях – в судостроении, на железнодорожном транспорте и так далее. Модульный принцип конструкции позволяет при необходимости обеспечить должный уровень технических, экономических и экологических требований с серьезной перспективой вперед. При проектировании основных конструктивных элементов мы также предусматривали возможность создания газовых модификаций.

Дизельные двигатели в танках ВС РФ. В настоящее время подавляющее большинство танков мира оснащено дизельными силовыми установками. Дизельные танки находятся в танковых парках 111 государств, а газотурбинные – в танковых парках только девяти стран. При этом танки «Абрамс» поставляются в ряд стран на деньги, предоставленные правительством США в рамках безвозмездной военной помощи, в другие страны – при определенном политическом давлении. Дизельные танки составляют основу танковых парков армий всех стран мира, за исключением США. При этом в США в экспортных целях разработан танк M1A2 с дизельным двигателем и продолжаются работы по дизельным силовым блокам. Танковые газотурбинные двигатели не получили большого распространения в мире. Это подтверждается тем, что из 25 специальных программ, определяющих развитие мирового танкостроения и танкового рынка в 2003-2012 гг., только две программы относятся к газотурбинным двигателям. Круг стран-потребителей танков с ГТД непрерывно сокращается. Во всех странах Европы и Азии при выборе будущего танка для своих армий предпочтение отдается дизельным танкам. Об этом свидетельствуют результаты тендерных испытаний. Актуальность использования дизельных двигателей в танках ВС РФ подтверждается и тем, что Министерство промышленности и торговли России заказало Научно-исследовательскому институту и компании «Уралтрак» разработку двух новых типов дизельных двигателей для использования их в гражданской и танковой промышленности. Речь идет о рядных силовых установках мощностью 475-1020 и 1020-2040 лошадиных сил соответственно.

В настоящее время в российской наземной военной технике дизельные двигатели мощностью 2000 лошадиных сил не используются. На танках Т-90, например, установлены силовые установки В-84МС или В-92С2 мощностью до тысячи лошадиных сил, на перспективных Т-14 «Армата» – 12Н360 мощностью 1500 лошадиных сил, а на мобильной установке МЗКТ-79221 комплекса «Тополь-М» – ЯМЗ-847.10 мощностью 800 лошадиных сил.

При заказе двигателей для военной техники Министерство обороны России, как правило, исходит из расчета 20-25 лошадиных сил на тонну веса машины. При этом силовые установки должны иметь небольшой запас по мощности, которая отбирается для обеспечения энергией дополнительных агрегатов и бортового оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вавилонский Э.Б.* Основной боевой танк России. Откровенный разговор о проблемах танкостроения. М.: Медиа-Принт, 2008.
2. *Симпсон Э.* Дизельный двигатель. М.: Аванпорт, 2011.
3. Никитин В.С. Современное состояние и перспективы развития отечественных корабельных дизельных энергетических установок / В.С. Никитин, В.Н. Половинкин, В.В. Барановский // Труды Крыловского государственного центра. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-otechestvennyh-korabelnyh-dizelnyh-energeticheskikh-ustanovok/viewer>

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Л.А. Цветков, К.Е. Шишков, А.С. Федотов, М.С. Балунув

Научный руководитель – **М.С. Балунув**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются способы повышения эффективности развития аддитивных технологий к альтернативной традиционному производству, требующему огромных инвестиций и ресурсов.

***Ключевые слова:** производство, усовершенствование, экология, экономия*

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF 3D PRINTING FOR HEAT ENGINE PARTS

L.A. Tsvetkov, K.E. Shishkov, A.S. Fedotov, M.S. Balunov

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The ways of increasing the efficiency of the development of additive technologies to alternative traditional production, which requires huge investments and resources, are considered.

***Keywords:** production, improvement, ecology, economy*

Во время пандемии COVID-19 аддитивные технологии стали выгодной альтернативой традиционному производству, требующему огромных инвестиций и ресурсов. Еще одно весомое преимущество — значительно меньший уровень отходов.

По данным Grand View Research, объем мирового рынка 3D-печати в 2019 году оценивался в \$11,58 млрд, а с 2020 по 2027 год его среднегодовой прирост составит более 14%. К 2027 году в мире будет 8 млн 3D-принтеров – почти в шесть раз больше, чем в 2018; 77% из них приходится на промышленные принтеры. С помощью 3D-печати уже создают одежду и обувь, предметы интерьера, механические детали и даже протезы.

зы. На 3D-принтерах печатают многие детали для двигателей Rutherford, устанавливаемых на ракете-носителе Electron.

Безопасно ли печатать двигатели самолетов на 3D-принтере. Индустрия 4.0. В медицине и здравоохранении на 3D-принтерах печатают кабели и другие детали для медицинского оборудования. Еще один удивительный эксперимент – 3D-печать фрагментов человеческих костей прямо в организме, вместо поврежденных или утраченных. Для этого используют специальные биосовместимые чернила.

Аддитивные технологии применяются в архитектуре: из отпечатанных деталей возводят целые каркасные дома, что делает их намного дешевле обычных аналогов. Как пишет The Guardian, в калифорнийской Коачелла Вэлли такими застроили целый микрорайон. Компания-застройщик Mighty Buildings утверждает, что это позволило сэкономить 95% рабочего времени строителей.

Это не единичный случай. Boeing и Airbus давно занимаются аддитивными технологиями – когда 3D-принтер изготавливает деталь послойно, ориентируясь на компьютерную модель. Например, в каждом пассажирском лайнере Boeing 787 есть около 30 деталей, напечатанных по такому алгоритму, а в Airbus A350 и A320neo – целый титановый кронштейн, который соединяет крылья с двигателем.

В 2016 году компания Airbus показала первый в мире полностью напечатанный на 3D-принтере самолет Thor. Он, конечно, больше похож на авиамодель: длина 4 м, масса 21 кг, управление дистанционное.

Россия не отстает. В 2020 году в Казани протестировали самолет с двигателем, напечатанным на 3D-принтере. Легкий беспилотник пролетел на высоте 170 м и двигался со скоростью 150 км/ч. В России печатают и более масштабные детали — например, для нового лайнера МС-21 и вертолета К-226. Их создают на ферме 3D-принтеров. Центра аддитивных технологий «Ростеха». Выпуск YouTube-канала «Индустрии 4.0», посвященный строительству домов с помощью 3D-печати сейчас мы в шаге от того, чтобы использовать 3D-печать для создания необходимых объектов на поверхности Луны, используя для этого лунную пыль. Это позволит значительно упростить колонизацию спутника: не придется доставлять туда тяжелые грузы и технику.

Как печатают детали.

В компании «Ростех» детали печатают из металла, но в виде порошка с определенными свойствами и размером гранул. При этом каждый 3D-принтер предназначен для определенного вида металла и печатать на другом материале не может.

Сначала устройство внутри принтера наносит на специальную платформу слой металлического порошка. Затем лазер, работающий по заранее установленной программе, нагревает и сплавляет этот слой по-

рошка, из-за чего он затвердевает. Затем платформа, на которой происходит выращивание, опускается на толщину слоя, и все повторяется. Так происходит несколько раз - слой за слоем. В зависимости от размера детали, процесс длится от нескольких часов до нескольких дней.

Плюсы 3D-печати.

1 - Детали становятся легче. Это важно в авиастроении: сэкономленный вес можно использовать, например, для дополнительных пассажирских или багажных мест.

2 - Экологичность. При создании деталей традиционным способом нужный элемент вырезают из куска металла, а остальное выбрасывают. Во время работы на 3D-принтере отходов практически нет.

3 - Создание форм, которые невозможно воспроизвести другими способами.

4 - Быстрая скорость создания деталей.

Стоит отметить, что на 3D-принтере вряд ли когда-нибудь будут печатать детали, которые дешево и быстро изготавливаются с помощью стандартных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рэдвуд Б.* 3D-печать. Практическое руководство / Б. Рэдвуд, Ф. Шофер, Б. Гаррэт. М.: ДМК-Пресс, 2020.
2. *Кэнесс Э.* Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития / Э. Кэнесс, К. Фонда, М. Дзеннаро. М.: МЦТФ, 2013.
3. Безопасно ли печатать двигатели самолетов на 3D-принтере. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/6066d7089a79474a1792a375>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОТОКА И ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИКИ В АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Е.С. Снежинская, Р.С. Литвиненко

Научный руководитель – **Р.С. Литвиненко**, канд. техн. наук,
доцент

Казанский государственный энергетический университет

Статья описывает использование несинусоидального распределения магнитного потока и введение третьей гармоники в асинхронных двигателях. Этот подход отличается от классического синусоидального распределения потока и позволяет улучшить эффективность и производительность двигателей. Рассматриваются методы получения третьей гармоники, в том числе через проектирование обмотки статора, а также потенциальные преимущества такого подхода, такие как снижение потерь и повышение коэффициента мощности.

Ключевые слова: асинхронные двигатели, несинусоидальное распределение, магнитный поток, третья гармоника

THE UTILIZATION OF NON-SINUSOIDAL DISTRIBUTION OF MAGNETIC FLUX AND THE THIRD HARMONIC IN ASYNCHRONOUS MOTORS

E.S. Snezhinskaya

Scientific Supervisor – **R.S. Litvinenko**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Kazan State Power Energy University

The article describes the use of non-sinusoidal distribution of magnetic flux and the introduction of the third harmonic in asynchronous motors. This approach differs from the classical sinusoidal distribution of flux and allows for improving the efficiency and performance of the motors. Methods for obtaining the third harmonic are considered, including through the design of the stator winding, as well as the potential benefits of such an approach, such as reducing losses and increasing the power factor.

Keywords: asynchronous motors, non-sinusoidal distribution, magnetic flux, third harmonic

В классических асинхронных двигателях обмотки статора генерируют магнитный поток, который имеет форму синусоиды. Такое распределение потока обеспечивает плавную и устойчивую работу двигателя в обычных условиях. Однако этот метод ограничивает возможности по эффективной оптимизации рабочих параметров.

Концепция несинусоидального распределения магнитного потока предполагает преднамеренное изменение формы магнитного поля, создаваемого обмотками статора. Вместо строгого соблюдения синусоидальной формы распределение магнитного потока изменяется, чтобы включить дополнительные гармонические составляющие. Несинусоидальное распределение магнитного потока предполагает изменение формы магнитного поля, создаваемого обмотками статора, вводя дополнительные гармонические составляющие. Математически магнитный поток Φ в таких двигателях может быть представлен в виде

$$\Phi(t) = \Phi_1 \sin(\omega t) + \Phi_3 \sin(3\omega t + \theta_3), \quad (1)$$

где Φ_1 – магнитный поток; Φ_3 – составляющая потока третьей гармоники; ω – угловая частота; t – время; θ_3 – фазовый угол третьей гармоники.

Среди различных гармонических составляющих, которые могут быть введены в распределение магнитного потока, третья гармоника имеет особое значение. Третья гармоника относится к компоненту магнитного поля, частота колебаний которого в три раза превышает основную частоту. Тем самым включение третьей гармоники в асинхронные двигатели дает ряд преимуществ [1].

Один из распространенных подходов к получению третьей гармоники заключается в проектировании обмотки статора. Математически крутящий момент T , создаваемый в асинхронном двигателе, может быть выражен как:

$$T = k \cdot (\Phi_1 + \Phi_3) \cdot I \cdot \sin(\theta), \quad (2)$$

где k – это константа; Φ_1 и Φ_3 – составляющие потока основной и третьей гармоник соответственно; I – ток в роторе; θ – угол между магнитными полями ротора и статора.

Использование несинусоидального распределения магнитного потока и включение третьей гармоники потенциально могут революционизировать технологию асинхронных двигателей в широком спектре отраслей промышленности. Эти достижения прокладывают путь к созданию более эффективных, надежных и универсальных двигательных систем, способных удовлетворять меняющимся требованиям современных применений.

В промышленных условиях асинхронные двигатели с несинусоидальным распределением потока могут найти применение в насосах, компрессорах, конвейерах и различных других механизмах. Улучшенная производительность и энергоэффективность, обеспечиваемые этими двигателями, могут привести к существенной экономии затрат на электроэнергию и техническое обслуживание [2].

Преимущества несинусоидального распределения магнитного потока включают снижение потерь в активной зоне за счет существенного сокращения потерь в сердечнике благодаря введению третьей гармоники, что повышает КПД двигателей и приносит экологические выгоды. Также это улучшает характеристики крутящего момента путем создания более симметричного магнитного поля и снижения пульсаций крутящего момента, что обеспечивает более плавную работу и повышает производительность на различных скоростях. Кроме того, несинусоидальное распределение потока способствует повышению коэффициента мощности за счет балансировки потребления реактивной мощности, что улучшает эффективность использования электроэнергии и снижает общие потери в системе [3].

Текущие исследования и разработки направлены на дальнейшее совершенствование реализации несинусоидального распределения потока и изучение его интеграции с новыми технологиями, такими как силовая электроника, цифровые системы управления и алгоритмы технического обслуживания. Внедрение несинусоидального распределения магнитного потока и введение третьей гармоники имеют важное значение в развитии технологии асинхронных двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вихарев Д.Ю.* Модель неявнополюсной электрической машины на основе математического описания магнитного поля в воздушном зазоре / Д.Ю. Вихарев, Н.А. Родин // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2021. № 6. С. 27-37.
2. Методика определения интегрального показателя надежности разрабатываемой электротехнической системы / Р.С. Литвиненко, А.Э. Аухадеев, Б.И. Сафиуллин [и др.] // Электротехнические системы и комплексы. 2021. № 1(50). С. 50-57.
3. *Сурков Д.В.* Моделирование асинхронного двигателя с несимметричной обмоткой статора в программе FEMM / Д.В. Сурков, А.С. Падеев, И.И. Ямансарин // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы. 2020. С. 208-210.

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.Д. Панькина, А.А. Медяков

Научный руководитель – **А.А. Медяков**, канд. техн. наук, доцент

Поволжский государственный технологический университет

Данная статья посвящена актуальной проблеме повышения надежности газотурбинных двигателей за счет улучшения производственных процессов создания лопаток турбины. В данной работе представлена классификация лопаток ГТД, а также рассмотрены особенности текущего технологического процесса изготовления этих деталей и их уровень качества.

Ключевые слова: газотурбинные двигатели, лопатки турбины, бесприпусковое литье, жаропрочные сплавы, литейные дефекты

PECULIARITIES OF MANUFACTURING OF GAS TURBINE ENGINE BLADES

A.D. Pankina, A.A. Medyakov

Scientific Supervisor – **A.A. Medyakov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Volga Region State University of Technology

This article is devoted to the urgent problem of improving the reliability of gas turbine engines by improving the production processes of creating turbine blades. This paper presents the classification of GTE blades, and also considers the features of the current technological process of manufacturing of these parts and their quality level.

Keywords: gas turbine engines, turbine blades, flash casting, heat-resistant alloys, foundry defects

Актуальная задача в двигателестроении – повышение надежности газотурбинных двигателей. Основной фокус – улучшение производственных процессов для создания деталей, особенно лопаток турбины. Сложность формы лопаток требует точности изготовления. Бесприпусковый метод изготовления лопаток через монокристаллическое литье стал стандартом, но сталкивается с высоким процентом брака, особенно из-за

нестабильности технологических режимов [1]. Решение проблемы повышения качества производства бесприпусковых заготовок лопаток турбины ГТД находится на стыке двух ключевых направлений: разработка цифровых моделей технологического процесса литья и использование аддитивных технологий, таких как 3D-печать. Эти технологические прорывы открывают новые возможности для создания сложнопрофильных лопаток с высокой точностью и надежностью.

Создание жаропрочных никелевых сплавов для лопаток турбины ГТД и разработка метода бесприпускового литья привели к значительному улучшению производства. Технология бесприпускового литья с монокристаллической структурой считается важным достижением в производстве деталей сложной формы. Изготовление рабочих лопаток требует особого внимания из-за их критической роли в работе двигателя. Эти лопатки имеют сложную форму, высокие требования к точности и серийный характер производства. Используемые материалы дорогостоящие и труднообрабатываемые, что требует особой оптимизации производственных процессов.

Давайте рассмотрим классификацию лопаток ГТД на рис. 1 [2-4].



Рис. 1. Классификация лопаток ГТД

В конце XX века начали разрабатывать новые литейные жаропрочные сплавы для лопаток турбин ГТД, учитывая практически полное использование деформируемых сплавов. Требования к лопаткам стали все более высокими, включая работу в агрессивных средах с высокими температурами. Жаропрочные сплавы должны обладать множеством характеристик, включая устойчивость к различным видам коррозии, высокую прочность и обрабатываемость. Сегодня в промышленном производстве наиболее распространены лопатки из сплавов на никель-хромовой и

никель-хром-кобальтовой основе, получаемые методом монокристаллического литья в керамические формы. Этот метод позволяет получить лопатки с монокристаллической структурой, что улучшает их механические характеристики и исключает концентраторы напряжений.

В настоящее время в отечественном двигателестроении используются два метода направленной кристаллизации: низко- и высокоградиентную. Однако возможности заготовительного производства не всегда обеспечивают высокий выход годных заготовок из-за литейных дефектов. Для уменьшения этих дефектов было предложено перегревать сплав перед заливкой в форму, однако этот метод не всегда эффективен из-за потери физико-механических свойств сплава. Технические требования к точности изготовления рабочих лопаток включают отклонения профиля, толщины, смещения выходной кромки, отклонения ширины хорды, шероховатость и размеры перфорационных отверстий.

Проблемы производства лопаток турбины, такие как низкий коэффициент использования материала и высокий процент брака из-за литейных дефектов, требуют решения [5]. Пресс-формы, используемые для формования профилей лопаток, подвержены износу в процессе эксплуатации, что может привести к искажению размеров отливок. Необходимо регулярно контролировать состояние этих форм после определенного числа использований. Контроль геометрических параметров заготовок лопаток важен из-за возможных отклонений, вызванных различной усадкой или деформацией в процессе изготовления и остывания.

Основные причины несоответствия геометрии отливок лопаток турбины:

1. Изменение технологических процессов в механических цехах для обработки отливок.
2. Постоянные отличия в размерах отливок из-за дефектов в пресс-формах.
3. Неточности в размерах моделей из-за использования материалов с переменной усадкой, неправильных режимов изготовления и конструкционных проблем в пресс-формах.
4. Механические повреждения моделей, форм и отливок в процессе обработки.
5. Нетехнологичная конструкция отливок, вызывающая их деформацию на различных этапах производства.
6. Деформация моделей из-за неустойчивости формы, усадки материала и неправильного хранения.
7. Деформация отливок при формовке или выбивке.
8. Деформация отливок во время термической обработки.

Необходимо вести технологический контроль отливок лопаток турбины как в литейном, так и в механическом цехах, чтобы обеспечить согласованность и качество производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каблов Е.Н.* Литые монокристалльные турбинные лопатки / А.Г. Братухин, Р.Е. Шалин, Е.Н. Каблов // Литейное производство. 1993. № 6. С. 13.
2. *Демин Ф.И.* Обеспечение точности геометрических параметров при изготовлении деталей ГТД. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2010. 86 с.
3. *Елисеев Ю.С.* Совершенствование метода литья лопаток ГТД с направленной кристаллизацией / Ю.С. Елисеев, С.П. Голанов, В.С. Моисеев // Литейщик России. 2013. № 10. С. 25–28.
4. *Каблов Е.Н.* Литые лопатки газотурбинных двигателей. М.: МИСиС, 2001. 632 с.
5. *Шитарев И.Л.* Разработка научно-технических основ высокоэффективных технологических процессов в производстве газотурбинных двигателей: дис. ... д-ра техн. наук. Самара, 1993. 59 с.