

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

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

Часть 1

Сборник материалов конференции

Электронное издание

Ярославль
2023

© Ярославский государственный технический университет, 2023
ISBN 978-5-9914-0999-5

УДК 378:001.891

ББК 74.58

С30

С30 Семьдесят шестая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 19-20 апреля 2022 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 1. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. – 688 с. – 1 CD-ROM. – Текст: электронный.

В первую часть сборника вошли материалы, представляющие результаты научно-исследовательской деятельности студентов, магистрантов и аспирантов в области химии и химической технологии, промышленной экологии, физико-математических наук, наземных транспортно-технологических комплексов, дорожного и автомобильного транспорта, энергетического машиностроения.

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

© Ярославский государственный технический университет, 2023

Программное обеспечение:
Microsoft Office Word, Adobe Acrobat

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

Редакционная коллегия: Е.О. Степанова, Л.А. Андриянова, И.Г. Абрамов, С.И. Волгин, Д.Д. Бахаева, Е.Ю. Вавилова, В.Б. Доброхотов, А.С. Ермишин, М.Н. Кюребекова, М.А. Майорова, К.М. Муратова, А.С. Морев, Т.М. Гусева, К.И. Порсев, П.Б. Разговоров, Т.А. Сиротина, А.А. Павлов, А.Ю. Соколов, Е.Ф. Трофимов, Л.А. Тюкина, И.В. Тюкин, С.В. Шкиотов, В.С. Федотов

Редакторы: М.А. Канакотина, Е.В. Круглова

Ответственные за электронные издания: М.А. Канакотина, Е.В. Круглова

Подписано к использованию/размещению на сайте

17.04.2023/18.04.2023

Объем издания: 14,1 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. Химия и химические технологии**
- 2. Промышленная экология**
- 3. Физико-математические науки**
- 4. Наземные транспортно-технологические комплексы**
- 5. Дорожный и автомобильный транспорт**
- 6. Энергетическое машиностроение**

Часть 2

1. Машиностроение
2. Материаловедение и технология материалов
3. Автоматизация в производственной и непроизводственной сферах
4. Промышленное и гражданское строительство
5. Архитектура и дизайн
6. Стандартизация, метрология и сертификация
7. Управление качеством

Часть 3

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

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

1	М.А. Аввакумова, Н.Н. Яценко, С.В. Житарь, Е.Г. Зиновьева. ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА ОБЖАРКИ КОФЕ	20
2	Р.Л. Баширов, М.В. Старостин, А.В. Колобов. АЛКИЛИРОВАНИЕ 3,4,6-ТРИФЕНИЛ-3,4-ДИГИДРО-2 <i>H</i> -ТИОПИРАН-1,1-ДИОНА	22
3	М.С. Бирюкова, О.С. Горячева. КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ В ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТАХ	27
4	Е.С. Иванова, О.Е. Насакин. ПОЛУЧЕНИЕ 5-АМИНО-1-МЕТИЛПИРАЗОЛ-3,4-ДИКАРБОНИТРИЛА	32
5	А.С. Гаврилова, В.В. Сиднева, К.В. Реут. ТЕРМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ <i>N</i> -ФТАЛИМИДОАЗИРИДИНОВ НА ОСНОВЕ α,β -НЕНАСЫЩЕННЫХ КЕТОНОВ	35
6	Ю.К. Горячева, Н.В. Макарова, Н.С. Кичева. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДЛИННОСТИ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ СУЛЬФАНИЛАМИДА	38
7	А.Д. Ермолина, Е.Э. Павлова, В.В. Сиднева. АЦИЛИРОВАНИЕ 2,3-ДИФЕНИЛАЗИРИДИН-1-АМИНА	41
8	М.А. Заколodka, С.Ю. Шлякова, А.В. Колобов, В.В. Маргазова. ПОДХОД К СИНТЕЗУ ШЕСТИЧЛЕННОГО КОНДЕНСИРОВАННОГО ЛАКТОНА НА ОСНОВЕ ДИГИДРОТИОПИРАНА	44
9	П.В. Иващенко, А.Р. Прокопцева, А.А. Фирстова, Е.Р. Кофанов. ОБ ОСОБЕННОСТЯХ АЛКИЛИРОВАНИЯ АРЕНОВ ЦИКЛОАЛКЕНДИКАРБОНОВЫМИ КИСЛОТАМИ	48
10	И.Д. Карпов, Д.А. Огородников, К.Л. Овчинников, В.В. Плахтинский. СИНТЕЗ 6-АРИЛ-2 <i>H</i> -ТИОПИРАН-3-КАРБАЛЬДЕГИДОВ – ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ АГЕНТОВ	51
11	А.А. Клюкина, А.Д. Ермолина, В.В. Сиднева. СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ 2-ФЕНИЛАЗИРИДИН-1-АМИНА	54

- 12 **Т.Р. Козак, Ю.Р. Юсифова, О.С. Горячева.**
ВАЛИДАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ 57
- 13 **В.В. Комова, В.В. Сиднева, Е.Р. Кофанов.**
ТЕРМОЛИЗ *N*-ФТАЛИМИДОАЗИРИДИНОВ, СОДЕР-
ЖАЩИХ ФРАГМЕНТ 1,2,4-ОКСАДИАЗОЛА 60
- 14 **Д.А. Огородников, И.Д. Карпов, К.Л. Овчинников.**
СИНТЕЗ 3-[(4-МЕТИЛФЕНИЛ)ДИАЗЕНИЛ]-4-(ПИРРО-
ЛИДИН-1-ИЛ)ПЕНТ-3-ЕН-2-ОНА 63
- 15 **А.П. Паничева, М.В. Старостин, А.В. Колобов.**
СИНТЕЗ 7-БРОМ-1-МЕТИЛ-3-ОКСО-8-ФЕНИЛ-2-ОКСА-
6-ТИАБИЦИКЛО[2.2.2]ОКТАН-5-КАРБОКСАМИДА 66
- 16 **С.В. Ржавитина, В.В. Сиднева, Г.Г. Красовская.**
СИНТЕЗ *N*-ФТАЛИМИДОАЗИРИДИНОВ, СОДЕРЖА-
ЩИХ ФРАГМЕНТ 1,2,4-ОКСАДИАЗОЛОВ 71
- 17 **А.И. Шестакова, О.С. Горячева.**
СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОФЕИ-
НА 74
- 18 **Д.А. Юдина, Ю.С. Груздева, О.С. Горячева.**
ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЫ 78
- 19 **А.С. Артюшин, Н.В. Филатова, Н.Ф. Косенко.**
ВЛИЯНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ АЛЮМО-
ОКСИДНОГО КОМПОНЕНТА НА СКОРОСТЬ ОБРАЗО-
ВАНИЯ НИКЕЛЬАЛЮМИНАТНОЙ ШПИНЕЛИ 81
- 20 **Е.И. Баёв, В.С. Кабанова, Е.А. Курганова, А.С. Фролов.**
СИНТЕЗ ГИДРОПЕРОКСИДА *ВТОР*-БУТИЛБЕНЗОЛА
И ЕГО КИСЛОТНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ДО ФЕНОЛА И МЕ-
ТИЛЭТИЛКЕТОНА 84
- 21 **В.В. Бухалин, Е.А. Зюзин, В.А. Фесенко, А.Б. Барков,
В.Л. Баклагин.** СИНТЕЗ ЗАМЕЩЕННЫХ *ОРТО*-
ДИКАРБОНИТРИЛОВ НА ОСНОВЕ ЭВГЕНОЛА 87
- 22 **А.Н. Дворецкая, Т.Н. Судзиловская.**
КЕРАМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРОМОТИРОВАННОГО
ЖЕЛЕЗООКСИДНОГО КАТАЛИЗАТОРА 90
- 23 **И.И. Зонина, М.С. Малоиван, Н.В. Филатова.**
КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ОКСИ-
ДА АЛЮМИНИЯ И ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ 94
- 24 **А.С. Карандеева, А.М. Урядова, Е.С. Макарова, М.В.
Кабанова.** СЕЛЕКТИВНОЕ АЛКИЛИРОВАНИЕ
ГЕКСАГИДРО-2*H*-ХРОМЕНО[4,3-*D*]ПИРИМИДИН-2,5-
ДИОНОВ 98
- 25 **М.А. Лебедев, А.Н. Киселев, С.А. Сырбу**
СИНТЕЗ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ЕСИММЕТРИЧНЫХ

	ПОРФИРИНОВ, СОДЕРЖАЩИХ ОСТАТКИ БЕНЗОКСАЗОЛА И БЕНЗО-N-МЕТИЛИМИДАЗОЛА	101
26	К.С. Романова, А.А. Трубников РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ШИПУЧИХ ПОРОШКОВ ЭКСТЕМПОРАЛЬНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ	105
27	К.С. Рудаков, Б.А. Хайруллин, Н.В. Симатов, Н.Г. Макаренко. КОНЦЕПЦИЯ ХИММОТОЛОГИИ	109
28	А.М. Мартьянова, Е.Р. Швайковская, Е.А. Курганова, А.С. Фролов. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ 2,5-КСИЛЕНОЛА	111
29	К.В. Величко, В.В. Климаченкова, А.О. Клепикова. СИНТЕЗ ЛАТЕКСОВ ПРИВИТЫХ СОПОЛИМЕРОВ МЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ИХ АПРОБАЦИЯ В СОСТАВЕ ГАСТРОРЕЗИСТЕНТНЫХ ОБОЛОЧЕК ТАБЛЕТОК	114
30	А.А. Галушко, М.А. Куликов, А.Б. Ветошкин, О.Ю. Соловьёва. ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА, СОДЕРЖАЩИХ ТВЕРДЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ ОСТАТОК ПИРОЛИЗА ШИН	118
31	А.А. Галушко, М.А. Куликов, А.Б. Ветошкин, С.В. Гудков. РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА С ТВЕРДЫМ УГЛЕРОДНЫМ ОСТАТКОМ ПИРОЛИЗА ШИН	122
32	К.Е. Дмитриев, А.А. Ершов, А.О. Шамина, И.С. Коротнева. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СО СТИМУЛЯТОРАМИ БИОДЕСТРУКЦИИ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МАКАННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ	126
33	А.А. Кириллов, М.В. Кузьмин, Н.И. Кольцов. СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ АКРИЛАТАМИ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ЛАКОВЫХ ПОКРЫТИЙ	130
34	А.Н. Курицын, И.С. Спиридонов, Н.И. Кольцов. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНЫХ КАУЧУКОВ НА СВОЙСТВА РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ	132
35	Е.А. Максимова, Н.В. Красникова. ВАЛИДАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ ПО К. ФИШЕРУ В СУБСТАНЦИИ С ПРОТИВОВИРУСНЫМ ДЕЙСТВИЕМ ПО ОТНОШЕНИЮ К ГРИППУ А, В И SARS-CoV-2	135
36	К.Ю. Орлова, К.С. Кузьмичёв, В.А. Ляпунов, Н.В. Красникова. СИНТЕЗ ПЕПТИДНЫХ ГЕЛАТОРОВ С ФРАГ-	

- МЕНТОМ АДАМАНТАНА КАК ОСНОВЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ С ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УЛЬТРАВЫСОКОЙ АДСОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТЬЮ 139
- 37 **Т.А. Саракеева, Е.Н. Егоров, Н.И. Кольцов.**
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 143
- 38 **А.Е. Семёнов, И.С. Спиридонов, Н.И. Кольцов.**
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО И ГАЛОИДНЫХ КАУЧУКОВ 146
- 39 **А.Н. Чамеева, Е.Н. Егоров, Н.И. Кольцов.**
ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 149
- 40 **М.А. Чернова, Н.А. Семенова, Н.И. Кольцов.**
ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОСФЕР НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 151
- 41 **Б.В. Шведский, Е.Е. Рогожина, И.С. Коротнева.**
ПОЛИМЕРНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛЯТОВ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ 154
- 42 **А.И. Иванов, С.Н. Шульмин, М.Е. Соловьев, О.Ю. Соловьёва.** МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ СЕРНО-УСКОРИТЕЛЬНОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ КАУЧУКА СКИ-3 158
- 43 **Г.Б. Ануфриева, Е.А. Индейкин.** ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НАПОЛНЕННЫЕ МАГНИТНЫМИ ПИГМЕНТАМИ 162
- 44 **Г.Б. Ануфриева, М.А. Волкова, Д.О. Бакунин, А.А. Ильин.** КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛФОРМАЛЯ И РЕЗОЛЬНЫХ СМОЛ 166
- 45 **С.В. Варгасова, А.Е. Терешко.** РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ИНГИБИТОРОВ ОТВЕРЖДЕНИЯ БЕТОНА 168
- 46 **С.С. Васильева, А.А. Романова, А.Е. Терешко.** ВЫБОР ПАВ ДЛЯ ВОДНО-ДИСПЕРСНЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ: СМАЧИВАТЕЛИ И ПЕНОГАСИТЕЛИ 171
- 47 **Е.С. Иванова, А.В. Яковлева, В.А. Данилов.** ИССЛЕ-

	ДОВАНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПОЛИМЕТАКРИЛО- ВОЙ КИСЛОТЫ	175
48	Е.С. Иванова, А.В. Яковлева, В.В. Андреева. ИССЛЕДОВАНИЕ ИММОБИЛИЗАЦИИ 4-АМИНОАНТИПИРИНА НА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТОНАЦИОННОГО НАНОАЛМАЗА	178
49	Е.М. Козлова, А.Е. Терешко. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫХ КРАСОК	180
50	А.Н. Колосова, Я.В. Кудрявцев, А.Е. Терешко. ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ КРАСНОГО ЖЕЛЕЗООКСИДНОГО ПИГМЕНТА, СИНТЕЗИРОВАННОГО ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА	183
51	М.М. Курбонов, А.В. Павлов. ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРСПЕКТИВЫ УПРАВЛЕНИЯ РОСТОМ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО	186
52	Д.А. Лапина, Д.А. Васильев, М.А. Волкова, А.А. Ильин ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПЛЕНКООБРАЗОВАТЕЛЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛКИДНО-МЕЛАМИНОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ КОМПОЗИЦИИ	188
53	Д.А. Ободков, Е.А. Индейкин. ИССЛЕДОВАНИЕ ПИГМЕНТНЫХ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА И ПОКРЫТИЙ	191
54	Ю.Д. Смурова, А.Е. Терешко. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОКСИДА ТИТАНА С РАЗЛИЧНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЧАСТИЦ	195
55	А.В. Яковлева, Е.С. Иванова, В.А. Данилов. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПОЛИАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ	198
56	Б.Н. Лихтинов, Д.А. Огородников, Д.А. Езжев, А.С. Ключников. АНАЛИЗ УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИЙ НАНЕСЕНИЯ ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ	201
57	М.В. Ильин, М.В. Кузьмин, Н.И. Кольцов. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ДИСПЕРСИЙ	205
58	М.С. Белинов, О.В. Малышкина, В.С. Иванов, В.В. Соловьев. УВЕЛИЧЕНИЕ ВЫРАБОТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА	208
59	А.В. Белян, М.С. Белинов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ УСТАНОВКИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СЕРНИСТО-	

- ЩЕЛОЧНЫХ СТОКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС» 212
- 60 **А.В. Белян, М.С. Белинов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев.** ЭКОЛОГИЯ УСТАНОВКИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СЕРНИСТО-ЩЕЛОЧНЫХ СТОКОВ ПАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС» 216
- 61 **А.В. Белян, М.С. Белинов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев.** РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ УСТАНОВКИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СЕРНИСТО-ЩЕЛОЧНЫХ СТОКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС» С ЦЕЛЬЮ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА 220
- 62 **А.В. Белян, М.С. Белинов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев.** СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СЕРНИСТО-ЩЕЛОЧНЫХ СТОКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС» 224
- 63 **А.О. Долинина, А.М. Мальцева, М.С. Шалабанова, В.К. Леонтьев.** ОСАЖДЕНИЕ ЧАСТИЦ В ПОЛЕ СИЛ ТЯЖЕСТИ И В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ 228
- 64 **И.М. Зарубин¹, В.К. Леонтьев²** ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЕ В ДНЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА ПРИ ПЕРЕМЕННОМ НАПОРЕ 233
- 65 **А.Н. Карпова, И.Д. Карпухно, О.Н. Кораблева.** ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА НА ДЕЙСТВИТЕЛЬНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ НАСОСА - НАПОР 237
- 66 **К.А. Мановская, В.В. Козлова, О.Н. Кораблева, Е.А. Гирба.** ПРОЕКТ УЗЛА УЛАВЛИВАНИЯ ЧАСТИЦ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ «ГИДРОДИНАМИКА ЗЕРНИСТОГО СЛОЯ» 242
- 67 **И.В. Махаличев, В.Е. Королев, М.А. Юровская, В.К. Леонтьев.** ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ НА МИНИМАЛЬНЫЙ РАЗМЕР ЧАСТИЦ, УЛАВЛИВАЕМЫХ В ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕ-КЛАССИФИКАТОРЕ 246
- 68 **К.Н. Поздеев, П.В. Беляев, Т.Т. Нургазизова, В.В. Соловьев.** ПОЛУЧЕНИЕ БИОДИЗЕДЬНОГО ТОПЛИВА ИЗ ТАЛЛОВОГО МАСЛА 250
- 69 **И.С. Сафарова, А.Н. Егорова, М.Д. Поварова, В.К. Леонтьев.** ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РАСПЫЛЕНИЯ

	ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ	253
70	К.В. Смирнов, Д.В. Демьянов, О.Н. Кораблева. ПРОЕКТ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ГИДРОЦИКЛОНА	257
71	А.А. Тихомирова, А.А. Липин. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРО- ЦЕССА КАПСУЛИРОВАНИЯ ПЕРКАРБОНАТА НАТРИЯ	261
72	М.М. Хирамагомедов, А.В. Тарасов. О ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕХОДА НПЗ С НЕБОЛЬШОЙ ГЛУБИНОЙ ПЕРЕРА- БОТКИ НЕФТИ НА ПЕРЕРАБОТКУ ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ	264
73	М.А. Алпатов, А.Е. Постнова. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗ- МОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫПУСКА ЗИМНЕГО ДИ- ЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ПАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС»	268
74	М.А. Алпатов, А.Е. Постнова. УВЕЛИЧЕНИЕ ВЫПУСКА ЗИМНЕГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ПАО «СЛАВ- НЕФТЬ-ЯНОС»	272
75	Л.А. Борзова, Н.А. Борзова, А.Е. Постнова. ОКИСЛЕНИЕ 1,7-ОКТАДИЕНА ВОДНЫМ РАСТВОРОМ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В УСЛОВИЯХ МЕЖФАЗНОГО КАТАЛИЗА	276
76	Н.А. Борзова, Л.А. Борзова, А.Е. Постнова. СИНТЕЗ ЭПОКСИДНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 1,5-ЦИКЛООКТА- ДИЕНА	279
77	М.А. Лебедева, Т.Т. Нургазизова, А.Е. Постнова, Г.В. Рыбина. КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕАК- ЦИИ КАРБОКСИЛИРОВАНИЯ ФЕНИЛГЛИДИЛОВОГО ЭФИРА	282
78	П.С. Пелевин, Т.Т. Нургазизова, Г.В. Рыбина, А.В. Тара- сов. КАРБОКСИЛИРОВАНИЕ ЭПИХЛОРИГИДРИНА В ПРИСУТСТВИИ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - ТЭАБ	285
79	А.В. Шилин. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕ- СКОЙ ОЦЕНКИ ДАННЫХ ПРИ ПОИСКЕ ПРИЧИН ПО- ЯВЛЕНИЯ ВОРСА ВО ФЛАКОНАХ В УСЛОВИЯХ НЕ- ПРЕРЫВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	288
80	В.В. Власов, А.С. Пушница, А.В. Горшкова. ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МА- ТЕРИАЛОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ	292

СЕКЦИЯ "ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ"

81	А.М. Геннадьева, С.З. Калаева, Е.А. Королева, Е.Д. Бахвалова. МАГНИТНАЯ ЖИДКОСТЬ ДЛЯ ОБЪ-
----	--

	ЕМНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ	295
82	Д.С. Петров, А.С. Симко, А.В. Печаткин. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ УДАЛЕННЫХ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ПОЖАРООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ	300
83	М.К. Кйалуэ, А.Г. Липин. ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНАЯ ОЧИСТКА ВОДЫ ОБОРОТНОГО ЦИКЛА	304
84	В.В. Евсеев. ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ	307
85	А.А. Смелик, Н.Г. Макаренко, Н.В. Лопатин, Б.К. Оноприенко. ГИБРИДНОЕ МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙ- СТВО ПО СБОРУ И СОРТИРОВКЕ МУСОРА	311
86	Н.В. Симатов, Б.А. Хайруллин, К.С. Рудаков, Н.Г. Ма- каренко. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СОДЕРЖАЩИЕ ЛАН- ТАН (III), ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ФОСФАТОВ ИЗ ВОДЫ	315
87	Б.А. Хайруллин, Р.И. Гафтулхатов, Е.Н. Чернякович, Н.Г. Макаренко. ЛОКАЛИЗАЦИЯ И СБОР РАЗЛИТОЙ НЕФТИ	320
88	Б.А. Хайруллин, Е.Н. Чернякович, А.А. Смелик, Н.Г. Макаренко. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ ПРО- ИЗВОДСТВЕ, ТРАНСПОРТИРОВКЕ И ПРИМЕНЕНИИ СПГ	324
89	Р.Э. Калаев, В.М. Макаров, Н.Ю. Алешина, С.Д. Тим- рот. ПРИМЕНЕНИЕ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТОК СТАЛЕ- ПЛАВИЛЬНЫХ ЦЕХОВ В КАЧЕСТВЕ АДСОРБЕНТА ТЯ- ЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ СТОЧНОЙ ВОДЫ	328
90	Д.В. Богачук, Е.С. Сергеев, О.П. Филиппова. АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТО- НОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА	331
91	Е.А. Захарова, С.А. Кораблева, Е.А. Гирба, О.Н. Кораб- лева. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ В ГАЗО- ЖИДКОСТНЫХ АППАРАТАХ	335
92	Е.Д. Бахвалова, Д.И. Коженова, Е.А. Королева. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ	339
93	В.Е. Кочиков, Н.Е. Бузина, К.М. Муратова. К ВОПРОСУ ОБ ОБРАЗОВАНИИ И ПЕРЕРАБОТКЕ ЗОЛОШЛАКО- ВЫХ ОТХОДОВ	343
94	Е.О. Курочкина, Е.С. Сергеев, О.П. Филиппова. УТИ- ЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ В СФЕРЕ АНТИ-	

	КОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ	347
95	А.Я. Лупанов, А.А. Андреев, Е.Л. Никитина. ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	350
96	И.Г. Тихонова, В.О. Рыбакова, Е.Л. Никитина. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД	353
97	М.М. Курбонов, А.В. Павлов. РАЗРАБОТКА АНТИМИКОТИЧЕСКОЙ РЕЦЕПТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО	356
98	Э.М. Сафиуллин, О.В. Ладыгина. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ БОРЬБЫ С ЭВТРОФИКАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД	359
99	А.В. Петровых, Е.Н. Березина, С.Д. Тимрот. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ОПАСНОСТИ «ЗЕЛЕННОГО МАСЛА» ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ	363
100	Е.А. Лысенко, Е.Э. Степанов, И.А. Кононов, С.Д. Тимрот. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	368
101	Д.Д. Коженова, Е.А. Фролова. СНИЖЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ОКСИДАМИ АЗОТА ПРИ СЖИГАНИИ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА	373
102	В.А. Шилов, А.А. Игнатъев. ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В КОНТЕКСТЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ ГЛОБАЛЬНЫХ РЕГИОНОВ МИРА	376
103	С.В. Жеглов, А.В. Павлов В.В. Макарьин. ОЛИГОМЕРЫ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА КАК СРЕДСТВА, ТОРМОЗЯЩИЕ КОРРОЗИЮ	382

СЕКЦИЯ "ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ"

104	А.Н. Дворецкая, А.Ю. Соколов. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ	386
105	А.В. Косицына, А.М. Хабаров, А.Ю. Соколов. ОБОБЩЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРО ЧЕТЫРЕХ ЧЕРЕПАХ	390
106	Ю.В. Кустиков, С.В. Веретенников, В.И. Богданов. АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ГТД С РАБОЧИМ ТЕЛОМ, ОБОГАЩЕННЫМ КИСЛОРОДОМ	394

107	М.А. Погребняк, И.С. Кашенко. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ В МОДЕЛИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАФИКА	398
108	А.Р. Байбасарова, Н.Н. Умыржан, И.Д. Арчаков, О.А. Степанова. К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	401
109	Е.В. Тчанникова, П.А. Иванов. ЭФФЕКТ ХОЛЛА	404
110	А.Д. Безднин, О.Ф. Огнева. ОБЛАКО ООРТА	408
111	М.А. Никонова, Н.Д. Малышкин, О.Ф. Огнева. ТЕЛЕСКОП КАК СПОСОБ ИЗУЧЕНИЯ КОСМОСА	412

СЕКЦИЯ " НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ "

112	М.М. Агейчева, С.Д. Иванов. ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ РАБОТЫ КОНТЕЙНЕРНОГО КРАНА НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА	417
113	А.Ф. Вагабов. СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМАЯ ПРОБЛЕМА РАЗВИТИЯ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ДЛЯ РОССИЙСКОЙ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	421
114	Д.В. Деревцов, Р.М. Авдеев, В.И. Емелин, Д.С. Игнатьев. СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ЭКСКАВАЦИИ ГРУНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ	428
115	Я.С. Ерохин, Н.В. Симатов, Б.А. Хайруллин, Н.Г. Макаренко. РОБОТОТЕХНИКА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	431
116	А.С. Лизунов, С.Д. Иванов. РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ КОНТЕЙНЕРОВ НА ТЕРМИНАЛЕ	435
117	В.Д. Парыгина. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПАССАЖИРСКИХ ПОДЪЕМНИКОВ НА ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ	439
118	А.А. Польшин, А.Е. Грибеников, А.А. Тихонов, А.К. Мальцев. МИРОВОЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА	444
119	К.С. Акимов, Н.С. Семёнов, Д.И. Трошин. РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ГУСЕНИЧНОГО ШАССИ	448
120	М.А. Афанасьев. ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ШИННОГО МАНИПУЛЯТОРА	452
121	П.О. Аширкулиев, Н.Е. Тарасова. РАЗРАБОТКА ПРИ-	

	ЦЕПНОЙ ПОДМЕТАЛЬНО-УБОРОЧНОЙ МАШИНЫ	456
122	Д.А. Бибик, Д.В. Фурманов. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗ- МЕЛЬЧИТЕЛЯ ДРЕВЕСИНЫ	460
123	Д.А. Гончаренко, Л.М. Шамахов. ШАГАЮЩИЙ РОБОТ КАК ДОСТАВЩИК МАЛЫХ ГРУЗОВ НА СТРОЙПЛО- ЩАДКЕ	464
124	В.С. Егоров, А.С. Морев. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОММУНАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	468
125	П.В. Зобова, Н.Е. Тарасова. РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОДНОКОВШОВОГО ПОГРУЗЧИКА	472
126	Д.М. Камнев, Д.И. Трошин. НАЛЕДИ НА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЯХ: КЛАССИФИКАЦИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ	475
127	Д.А. Карякин, И.С. Тюремнов. ПЛАТФОРМА ДЛЯ ВНУТРИЦЕХОВОГО ТРАНСПОРТА С ЭЛЕКТРОПРИ- ВОДОМ	478
128	А.Е. Лабазов, А.С. Морев. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО КАПИТАЛЬНОМУ РЕМОНТУ ДВС, ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ НА ДИАГ- НОСТИЧЕСКО-ДИНАМОМЕТРИЧЕСКИХ СТЕНДАХ, С ЭЛЕМЕНТАМИ ИМИТАЦИИ НАГРУЗКИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ МАШИН	481
129	Д.Е. Лапиев, Д.И. Трошин. ФРЕЗА ДОРОЖНАЯ С ГИБ- КИМИ РЕЖИЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ	485
130	Р.А. Малахов, Д.В. Фурманов. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТЕРА ДЛЯ СТРУЖКИ КОЖ ХРОМОВОГО ДРОБЛЕНИЯ	489
131	А.С. Маликов, Д.И. Трошин. ПРИЖИМНОЕ УСТРОЙ- СТВО ВИЛОЧНОГО ПОГРУЗЧИКА	493
132	Г.С. Малов. ПАРАМЕТРИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ ШНЕКА С ИЗМЕНЯЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ	496
133	Д.В. Полегаев, Д.В. Фурманов. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕ- ЖУЩИХ СВОЙСТВ ЗУБЬЕВ ДОРОЖНОЙ ФРЕЗЫ	500
134	И.В. Ромашкин, Н.Э. Лысаков. ПРЕДПОСЫЛКИ К ОП- РЕДЕЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ УГЛА УСТАНОВКИ РЕЖУЩЕ- ГО ЭЛЕМЕНТА НА СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ	504
135	И.А. Румянцев, И.С. Тюремнов. О ЗАДАЧИ МОДЕЛИ- РОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЗАДНЕЙ ПОДВЕСКИ СНЕГО- ХОДА	507
136	А.В. Рыженьков, Л.М. Шамахов. ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗ- ДАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ДОРОЖНЫХ ФРЕЗ	512

137	А.В. Серебряков, Н.Е. Тарасова. БУЛЬДОЗЕРНЫЙ ОТВАЛ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ	516
138	А.В. Узлов, Н.Е. Тарасова. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ARM-WINMACHINE ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ КОНСОЛЬНОГО КРАНА	520
139	Т.А. Краснобаев. ИИ В САПР: КАК ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ МЕНЯЕТ ПРОЕКТИРОВАНИЕ	524
140	Д.Д. Николаенков. ОБЗОР РЫНКА И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ САМОХОДНЫХ ГРУЗОВЫХ ТЕЛЕЖЕК ДЛЯ ПОДЪЕМА ПО ЛЕСТНИЧНЫМ МАРШАМ	528
141	К.К. Шаманин, К.Д. Корсакова. ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХАМПЛИТУДНОГО ДЕБАЛАНСА С ПОДВИЖНОЙ ВНУТРЕННЕЙ МАССОЙ	531
142	Д.А. Шорохов, И.С. Тюремнов. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УПРУГОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ АМОРТИЗАТОРОВ ВАЛЬЦА ВИБРАЦИОННЫХ КАТКОВ	535
143	Д.С. Минц. РАЗРАБОТКА ПОЗВОНКА НА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОДУШКАХ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРА	539
144	В.Г. Рязанцев. ПЕРЕВОД ВИБРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА КАТКА RV-7,0 DD В РЕЖИМ АСИММЕТРИЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ	543

СЕКЦИЯ «ДОРОЖНЫЙ И АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ»

145	М.Г. Карасёва. СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ГОРОДСКОЙ ПОЕЗДКИ, ПРЕДУСМАТРИВАЮЩИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ПЕРСОНАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ	549
146	О.В. Новожилов, Д.В. Лебедев. СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ	553
147	К.С. Федченко, Д.В. Лебедев, Т.М. Гусева. СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭРГОНОМИКИ КАБИН АВТОМОБИЛЕЙ	556
148	И.М. Шундрик, В.В. Иродов, Т.В. Погодина. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ “FORD FOCUS II”	559
149	С.А. Устенко, В.В. Иродов, Т.В. Погодина. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ	

	НА УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ “ DAEWOO NEXIA”	563
150	А.Н. Rogozin, В.В. Иродов. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ “KIA RIO”	568
151	Д.А. Куприянова, А.В. Соколов. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ БЮДЖЕТНОГО ЖИЛОГО ПРИЦЕПА СО ВСЕМИ БЫТОВЫМИ УДОБСТВАМИ	572
152	А.А. Качков, В.А. Фомин, А.В. Маркелов, В.В. Соловьев. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА ЗАЩИТНЫХ СМАЗОК	576
153	Л.О. Огурцов, А.В. Симонов, А.В. Соколов, В.В. Соловьев. ВЛИЯНИЕ ГЛИЦЕРИНА НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ЛИТИЕВЫХ СМАЗОК НА ОСНОВЕ 12-ОКСИСТЕАРИНОВОЙ КИСЛОТЫ И МЕТИЛОВОГО ЭФИРА ТЕХНИЧЕСКОГО ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА	580
154	А.В. Симонов, В.А. Фомин, А.В. Соколов, В.В. Соловьев ВЛИЯНИЕ ВОДЫ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОНЕНТОВ СМАЗОЧНОЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ	585
155	В.А. Фомин, Л.О. Огурцов, А.В. Маркелов, В.В. Соловьев. СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ	589
156	А.М. Ясько, И.А. Василенко, И.А. Трефилов, С.Г. Кондаков. РАЗВИТИЕ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТА	593
157	С.М. Шорохов, А.М. Канаев. РАЗВИТИЕ СОВЕТСКОГО АВТОТРАНСПОРТА В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ	596
158	А.В. Тихомиров, М.С. Балунев. ТРЕНИЕ В МАШИНЕ	600
159	Д.П. Сальников, М.С. Балунев. ОПЫТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ	604
160	П.В. Ройхка, В.В. Капралов. АВТОМОБИЛЬНЫЕ БАЗОВЫЕ ШАССИ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ ВОЙСК	607
161	П.А. Родичкин, М.С. Балунев. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	610
162	К.А. Осыгчный, Д.Д. Кучинский, А.М. Канаев. ОТЕЧЕСТВЕННОЕ АВТОМОБИЛЕТРОЕНИЕ НА СЛУЖБЕ ВС РФ. НАДЁЖНОСТЬ, КАЧЕСТВО И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА	613
163	А.Э. Огородников, М.С. Балунев. ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С БЕСШАТУННЫМ МЕХАНИЗМОМ	616

- 164 **А.А. Мишин, М.С. Балунев.** МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ИСПЫТАНИЙ ФОРСУНКИ DENSOMOD7850 НА ПРЕДПРИЯТИИ АО ЯЗДА 621
- 165 **Н.А. Мачехин, М.С. Балунев.** ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЕЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ДВИГАТЕЛЕМ 624
- 166 **Д.Д. Кучинский, А.А. Ваганов.** ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ (ВАТ) В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ 627
- 167 **В.А. Курилов, К.А. Кулайков, Д.С. Романюта.** МОДЕЛЬ ДИВЕРСИОННО-РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА СО СРЕДСТВАМИ ДАЛЬНОМЕТРИИ 630
- 168 **Д.И. Кияницкий, М.С. Балунев.** ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ 632
- 169 **Д.П. Бобарыкин, М.С. Балунев.** ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ 635
- 170 **И.А. Белоцерковский, М.С. Балунев.** АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ АВТОМОБИЛЯ ВАЗ 639
- 171 **Д.Д. Баяндин, М.С. Балунев.** ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ВОДОРОДНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ 641
- 172 **Д.К. Багаев, В.В. Гуменный.** ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ВОЕННОЙ ОПЕРАЦИИ 645

СЕКЦИЯ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»

- 173 **Е.В. Гарнышова, Е.В. Измайлова.** ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ 669
- 174 **И.Е. Грачева, А.А. Ивнев.** ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРЯНЫХ СТАНЦИЙ ОРТОГОНАЛЬНОГО ТИПА В РОССИИ 653
- 175 **И.Е. Грачева, Д.В. Федорова.** АДАПТАЦИЯ ФОРСУНКИ ЯМЗ-236, 238 ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АВАРИЙНОМ ВОДОГРЕЙНОМ КОТЛЕ 658
- 176 **А.Я. Горшков, А.А. Павлов.** АНАЛИЗ ЧАСТОТ И ФОРМ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА V-ОБРАЗНОГО 8-ЦИЛИНДРОВОГО ДИЗЕЛЯ 662
- 177 **А.А. Давыдов, А.А. Павлов.** РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА 10-ЦИЛИНДРОВОГО V-ОБРАЗ-

	НОГО ДИЗЕЛЯ	666
178	А.А., Давыдов, Д.В. Карманов, А.А. Павлов, Д.В. Федорова. МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМОБИЛЯ УРАЛ-375 ПУТЕМ РЕМОТОРИЗАЦИИ ПРИ УСТАНОВКЕ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ	669
179	Д.В. Карманов, А.А. Павлов. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ШАТУНА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	672
180	Г.Д. Софронов, А.А. Павлов. АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СБОРКИ КШМ V-ОБРАЗНОГО 12-ЦИЛИНДРОВОГО ДИЗЕЛЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГАЗОВОЙ СИЛЫ	676
181	Н.С. Лешукова, А.Е. Косинова, В.Н. Преснухина, А.В. Комин. О РАСТВОРИМОСТИ КАРБОКСИЛСОДЕРЖАЩЕГО СОПОЛИМЕРА	681

ДОПОЛНЕНИЕ

182	А.В. Химич. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАНАТНЫХ ДОРОГ ДЛЯ ЛЕСОЗАГОТОВКИ НА КРУТЫХ СКЛОНАХ	685
-----	---	-----

СЕКЦИЯ «ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

УДК 543.48:664:54.062

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА ОБЖАРКИ КОФЕ

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

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

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

В работе приведены результаты определения индекса обжарки в различных образцах кофе. Показана корреляция индекса обжарки от содержания полифенольных соединений в кофе.

Ключевые слова: фотометрия, фенольные соединения, кофе, индекс обжарки

PHOTOMETRIC DETERMINATION OF COFFEE ROAST INDEX

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

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

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov

The paper presents the results of determining the roast index in various coffee samples. The correlation of the roast index with the content of polyphenolic compounds in coffee is shown.

Keywords: photometry, phenolic compounds, coffee, roast index.

Одним из самых популярных напитков в мире является кофе. Его аромат, цвет и насыщенность вкуса достигаются путем термической обработки зерен (обжарки). Целью данной работы является определение индекса обжарки кофе с помощью фотометрического анализа. В качестве объектов для изучения были выбраны образцы кофе пяти наименований торговых марок «Черная карта «Gold» (ООО «Штраус»), «NESCAFE GOLD» (ООО «Нестле Кубань»), «MacCoffee «Gold» (ООО «ГРАНД-НН»), «MIGEL» (ООО «Сантис»), «NESCAFE CLASSIC» (ООО «Нестле

Кубань»). В работе [1] показана возможность определения индекса обжарки кофе по изменению в спектрах поглощения оптической плотности (А) при длине волны $\lambda = 420$ нм. Следует отметить, что несмотря на то, что известны различные методы анализа природного сырья, лекарственных препаратов и продуктов питания [2-10] фотометрия является очень востребованным методом точного количественного определения веществ. Фотометрическое определение мы осуществляли на спектрофотометре СФ-2000, а статистическую обработку результатов проводили не менее чем для трех измерений при доверительной вероятности 0.95. Во всех снятых спектрах растворов кофе концентрации 0,1 мг/мл наблюдался максимум поглощения при длине волны 280 нм, что характерно для соединений фенольной природы. Экспериментально установлено, что при увеличении степени обжарки наблюдается уменьшение пика при вышеуказанной длине волны, что обусловлено разрушением полифенольных соединений. Одновременно с этим наблюдается незначительное увеличение значений оптической плотности при длине волны 420 нм. Данную величину, рассчитанную с учетом всех разбавлений, принято считать индексом обжарки [1], характеризующим содержание меланоидинов в рассматриваемых образцах. В табл. приведены данные, отражающие зависимость индекса обжарки кофе от содержания полифенолов. Для определения суммарного содержания полифенолов использовали фотометрический метод [9].

Таблица. Зависимость индекса обжарки от содержания фенольных соединений

Образец кофе	Содержание полифенолов, мг/100 г	Индекс обжарки
Черная карта Gold	531,5	8,6
Nescafe Gold	491,1	8,9
MacCoffee Gold	431,3	9,1
Nescafe Classic	293,8	9,2
MIGEL	288,4	9,3

Как видно из табл., наблюдается тенденция обратной зависимости индекса обжарки от содержания полифенольных соединений. Известно, что под действием высоких температур происходит изменение химического состава кофе, а именно, разрушение полифенолов с образованием меланоидинов, обладающих красно-коричневой или темно-коричневой окраской [1, 4-6, 9]. Обжарка кофе влияет не только на вкусовые качества, но и определяет уровень кофеина и выделение эфирных масел. В настоящее время степень обжарки в основном оценивается производителями визуально; существует деление на кофе слабой, средней, средне-темной, темной обжарки и т.д. На наш взгляд, в профессиональной среде в условиях лабораторных испытаний оценивать степень обжарки можно

более точно с использованием индекса обжарки на основании конкретных цифровых значений. Таким образом, в работе показана перспективность применения фотометрического определения индекса обжарки кофе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Цюпко Т.Г.* Спектрофотометрическая оценка железосостанавливающей способности растворимого кофе / Т.Г. Цюпко, Е.А. Тищенко, О.Б. Воронова // Аналитика и контроль. 2016. Т. 20, №4. С. 320-329. DOI: 10.15826/analitika.2016.20.4.003.
2. *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, no. 1. P. 1-3. DOI: 10.15826/chimtech.2021.8.1.10.
3. *Yaschenko N.N.* Application of galvanostatic coulometry for determination of phenolic compounds in medicinal preparations / N.N. Yaschenko, S.V. Zhitar, E.G. Zinovjeva // Сб. тезисов IV Междунар. конф. «Современные синтетические методологии для создания лекарственных препаратов и функциональных материалов» (MOSM2020). Екатеринбург, 2020. Доп. том. С.76. Электронный ресурс. DR-74.
4. *Bravo J.* Evaluation of spent coffee obtained from the most common coffeemakers as a source of hydrophilic bioactive compounds / J. Bravo, I. Juárez, C. Monente, B. Cämmerer // *J. Agric. Food Chem.* 2012. Vol. 60. P. 12565-12573. DOI: 10.1021/jf3040594.
5. Extraction of coffee antioxidants: Impact of brewing time and method / I.A. Ludwig, Lidia Sancheza, Bettina Caemmererb, Lothar W. Krohb, M. Paz De Peñaа // *Food Research International*, 2012. Vol. 48. P. 57-64. DOI: 10.1016/j.foodres.2012.02.023.
6. *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.
8. *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.
9. 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.
10. *Назарова Л.Н.* Фотометрическое определение содержания веществ фенольной природы в образцах кофе / Л.Н. Назарова, Н.Н. Яценко, С.В. Житарь, Е.Г. Зиновьева // Сб. материалов 75-й всерос. научно-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с междунар. участием. 20-21 апреля 2022 г., Ярославль: сб. материалов конф В. 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. С. 34-36. 1 CD-ROM. Текст: электронный.
11. *Яценко Н.Н.* Тест-системы для определения фенольных соединений / Н.Н. Яценко, С.В. Житарь, Е.Г. Зиновьева // Сб. тезисов Всерос. конф. по фундаментальной и прикладной химии «Химия–XXI век». Ижевск: Удмуртский ун-т, 2022. С. 236.

УДК 547.818.1

АЛКИЛИРОВАНИЕ 3,4,6-ТРИФЕНИЛ-3,4-ДИГИДРО-2Н-ТИОПИРАН-1,1-ДИОНА

Р.Л. Баширов, М.В. Старостин, А.В. Колобов

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

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрены возможные продукты взаимодействия 3,4,6-трифенил-3,4-дигидро-2Н-тиопиран-1,1-диона с рядом нуклеофилов в присутствии гидроксида натрия.

Ключевые слова: 3,4,6-трифенил-3,4-дигидро-2Н-тиопиран-1,1-дион, бензальдегид, п-хлорбензальдегид, феноцилбромид, п-хлорбензилбромид, алкилирование, сульфоны

ALKYLATION OF 3,4,6-TRIPHENYL-3,4-DIHYDRO-2H-THIOPYRAN-1,1-DIONE

R.L. Bashirov, M.V. Starostin, A.V. Kolobov

Scientific Supervisor - **A.V. Kolobov**, Doctor of Chemical Sciences, Professor

Yaroslavl State Technical University

Possible products of the interaction of 3,4,6-triphenyl-3,4-dihydro-2H-thiopyran-1,1-dione with a number of nucleophiles in the presence of sodium hydroxide are considered.

Keywords: 3,4,6-triphenyl-3,4-dihydro-2H-thiopyrane-1,1-dione, benzaldehyde, p-chlorobenzaldehyde, phenacyl bromide, n-chlorobenzyl bromide, alkylation, sulfones

Известно использование алкилтиопиранов в качестве катализаторов полимеризации полупродуктов для синтеза биологически активных веществ и лекарственных препаратов. Они обладают инсектицидными свойствами, как и соответствующие сульфоны [1].

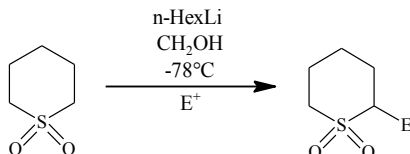
Таким образом разработка новых методов синтеза алкилтиопиранов представляется актуальной задачей.

Целью данной работы была рассмотрение взаимодействия 3,4,6-трифенил-3,4-дигидро-2Н-тиопиран-1,1-диона с рядом нуклеофилов в

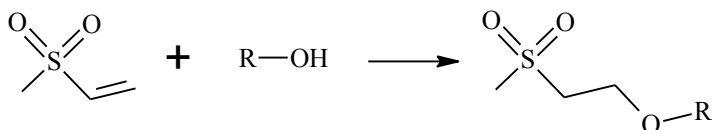
присутствии гидроксида натрия способного привести к синтезу алкильных производных ряда тиопирана.

Фрагмент дигидропирана обладает двумя реакционными центрами, способными к взаимодействию с нуклеофилом (основанием).

Так, известен способ получения замещенных тетрагидро-1,1-диоксид-2*H*-тиопиранов с использованием литийорганических соединений [2].



В то же время виниловые эфиры сульфонов способны к взаимодействию с нуклеофильными реагентами по схеме реакции Михаэля [3]

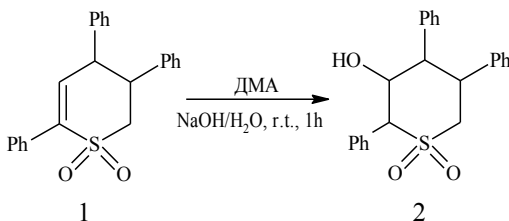


Таким образом состав продуктов рассматриваемых ниже превращений представляет научный интерес.

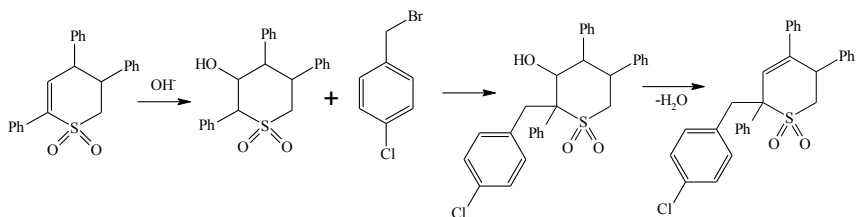
Исходный 3,4,6-трифенил-3,4-дигидро-2*H*-тиопиран-1,1-дион **1** синтезирован по ранее разработанной реакции получения 3,4-дигидро-2*H*-тиопиранов с последующим окислением перекисью водорода [4].

Нами показано что при взаимодействии 3,4,6-трифенил-3,4-дигидро-2*H*-тиопиран-1,1-диона с бенальдегидом, *n*-хлорбензальдегидом и фенацилбромидом образуется один и тот же продукт **2**, а в спектрах ЯМР H^1 -спектров отсутствуют сигналы протонов входящих в структуру применённых реагентов.

Таким образом, во всех случаях очевидно протекает реакции Михаэля с гидроксидом натрия:



Однако в случае использования п-хлорбензилбромида был получен иной продукт, предполагаемая структура которого не противоречит проведённым анализам.



Таким образом, нами впервые получены соединения - производные тиопирана и обнаружена новая домино- реакция (присоединение по Михаэлю – алкилирование - дегидратация).

Экспериментальная часть

К раствору 2 г (5,55 ммоль) 3,4,6-трифенил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-1,1-диона в 20 мл ДМА при перемешивании добавили раствор 0,24 г (6,11 ммоль) гидроксида натрия в 5 мл воды и 1,22 г (6,11 ммоль) алкилирующего агента реакционная смесь изменила цвет на желтый и нагрелась. Через 1 час смесь вылили в воду, выпавший осадок отфильтровали, промывали водой, уксусной кислотой, перекристаллизация из изопропилового спирта. Получили порошок желтого цвета.

Бензальдегид: Выход 5 %, $T_{пл}$ 179-184 °С ИКС, $см^{-1}$: 3018 (ArC-H), 3056 (ν_{as} C-H), 2973 (ν_s C-H), 1491, 1601 (C-CAr), 1454 (δ CH₂), 1295 (ν_{as} SO₂), 1122 (ν_s SO₂), 694 (монозамещениеAr). ¹H NMR (60 МГц, DMSO-*d*₆) δ 7.25 (dd, $J = 11.3, 7.3$ Hz, 13H), 5.99 (s, 1H), 5.76 (s, 1H), 4.90 (tq, $J = 7.4, 3.7, 3.2$ Hz, 1H), 3.72 (d, $J = 8.3$ Hz, 2H).

n-Хлорбензальдегид: Выход 9,5 %, $T_{пл}$ 183-184 °С ИКС, $см^{-1}$: 3018 (ArC-H), 3033 (ν_{as} C-H), 2925 (ν_s C-H), 1491, 1601 (C-CAr), 1454 (δ CH₂), 1294 (ν_{as} SO₂), 1121 (ν_s SO₂), 694 (монозамещениеAr). ¹HNMR (400 МГц, DMSO-*d*₆) δ 7.57 – 6.96 (m, 18H), 5.98 (s, 1H), 5.77 (s, 1H), 4.90 (t, $J = 7.6$ Hz, 1H), 3.82 – 3.65 (m, 2H).

Фенацилбромид: Выход 7,2 %, $T_{пл}$ 177-180 °С ИКС, $см^{-1}$: 3059 (ArC-H), 3029 (ν_{as} C-H), 2969 (ν_s C-H), 1682 (C=O), 1492, 1597 (C-CAr), 1447 (δ CH₂), 1300 (ν_{as} SO₂), 1124 (ν_s SO₂), 694 (монозамещениеAr). ¹HNMR (60 МГц, DMSO-*d*₆) δ 7.63 – 6.99 (m, 18H), 6.12 – 5.89 (m, 1H), 5.77 (tt, $J = 3.5, 1.6$ Hz, 1H), 5.16 – 4.63 (m, 1H), 3.73 (dd, $J = 5.9, 3.5$ Hz, 2H).

n-Хлорбензилбромид: Выход 21 %, $T_{пл}$ 243-244 °С ИКС, $см^{-1}$: 3024 (ArC-H), 2934 (ν C-H), 1599, 1490 (C-CAr), 1490 (δ CH₂), 1300 (ν_{as} SO₂),

1134 (ν_s SO₂), 694 (монозамещениеAr). ¹HNMR (400 MHz, Chloroform-*d*) δ 7.71 – 7.63 (m, 2H), 7.46 (dd, $J = 5.2, 2.1$ Hz, 3H), 7.38 (d, $J = 8.5$ Hz, 2H), 7.35 – 7.28 (m, 3H), 7.13 (dddd, $J = 15.4, 9.0, 5.5, 3.8$ Hz, 8H), 6.79 – 6.72 (m, 2H), 6.01 (d, $J = 2.4$ Hz, 1H), 4.65 (ddd, $J = 11.1, 5.5, 2.4$ Hz, 1H), 3.99 (d, $J = 13.9$ Hz, 1H), 3.86 (d, $J = 13.9$ Hz, 1H), 3.35 (dd, $J = 14.6, 5.6$ Hz, 1H), 3.18 (dd, $J = 14.6, 11.1$ Hz, 1H).

СПИСОКЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ingall A.H.* Comprehensive Heterocyclic Chemistry, 1984.
2. Oxidative addition of N-aminophthalimide to 3,4-dihydro-2H-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. 2021. Vol. 94(1). 153715.
3. *Strasser S.* Nucleophile-mediated oxa-Michael addition reactions of divinyl sulfone – a thiol-free option for step-growth polymerizations / S. Strasser, C. Slugovc // Catalysis Science & Technology. 2015. 5(12). P. 5091–5094.
4. A greener and efficient access to substituted fourand six-membered sulfur-bearing heterocycles / G. Parisi, L. Degennaro, C. Carlucci, M. Candia, P. Mastroilli, A. Roller, W. Holzer, C. D. Altomare, V. Pace, R. Luisi // Cite this: Org. Biomol. Chem. 2017. Vol. 15. 5000.

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ В ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТАХ

М.С. Бирюкова, О.С. Горячева

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

Ярославский государственный технический университет

Представлены результаты анализа порошка янтарной кислоты методами ВЭЖХ, ИК-спектроскопии и определения температуры плавления. Результат анализа показал, что все образцы не содержат примесей.

Ключевые слова: янтарная кислота, высокоэффективная жидкостная хроматография, ИК-спектроскопия, температура плавления, контроль качества

QUALITATIVE ANALYSIS OF SUCCINIC ACID IN MEDICINES

M.S. Biryukova, O.S. Goryacheva

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

Yaroslavl State Technical University

The results of the analysis of succinic acid powder by HPLC, IR spectroscopy and melting temperature determination are presented. The result of the analysis showed that all samples do not contain impurities.

Keywords: succinic acid, high-performance liquid chromatography, IR spectroscopy, melting point, quality control

Янтарная кислота представляет собой двухосновную органическую кислоту с огромным спектром полезных свойств, так как является одним из важнейших веществ энергетического обмена в живых организмах, производимых в митохондриях (в цикле Кребса). Препараты, включающие в свой состав янтарную кислоту, улучшают метаболизм и энергообеспечение тканей, уменьшают гипоксию тканей.

Среди множества известных методов анализа для идентификации янтарной кислоты чаще всего используют два метода: метод инфракрасной спектрометрии (ИК) и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

Например, в статье [1], для анализа образца, содержащего янтарную кислоту, методом ИК-спектроскопии применили ИК-Фурье спектрометр ФСМ 1201. Проведя определение в области $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$, доказывается подлинность образца по положению полос поглощения и в сравнении со стандартным спектром.

Анализируя полученный спектр янтарной кислоты, можно наблюдать полосу переменной интенсивности фрагмента COO-H (валентные колебания) в диапазоне $3550\text{--}2500\text{ см}^{-1}$. Вследствие образования межмолекулярных и внутримолекулярных водородных связей интенсивность полосы понижается, а ширина увеличивается. А при сильном разбавлении полоса становится узкой ($3550\text{--}3500\text{ см}^{-1}$). Еще один характерный сигнал в области $2930\text{--}2860\text{ см}^{-1}$ говорит о наличии CH_2 -группы. Также присутствует сигнал, соответствующий наличию группы -OH связанной (2360 см^{-1}). Одна из основных полос характерных для карбоновых кислот также присутствует: группа C=O вал. $1800\text{--}1650\text{ см}^{-1}$ с сильной интенсивностью. Для групп, связанных водородной связью, сигнал смещается в нижнюю область спектра – $1740\text{--}1650\text{ см}^{-1}$, а для свободной группы соответствует высоким значениям частоты – $1800\text{--}1740\text{ см}^{-1}$. Для группы $\text{CH}_2\text{-COOH}$ характерен диапазон частот в области $1730\text{--}1750\text{ см}^{-1}$. Полосы, находящиеся в области средней интенсивности ниже 900 ($670\text{--}720$) см^{-1} , описывают деформационные колебания C-H в карбоновых кислотах. Далее авторы в своем исследовании проводят сравнение полученных спектров со спектрами, содержащимися в базе данных IRPal. Данное сопоставление подтверждает наличие активного компонента в пробе.

Как было сказано выше, для анализа можно использовать метод ВЭЖХ. В работе [2], для идентификации янтарной кислоты и цетилпиридиния хлорида в лекарственных пленках был использован метод градиентной ВЭЖХ. Для проведения анализа был использован японский хроматограф марки Shimadzu, модели LC-20 Prominence.

Для того чтобы выбрать подходящую подвижную фазу, а также способ элюирования, необходимо учитывать специфические физико-химические свойства разделяемых компонентов. Так, например, янтарная кислота в ионизированной форме обладает гидрофильными свойствами, что затрудняет ее удерживание на обращено-фазном сорбенте. По этой причине в качестве элюента для хроматографии была использована смесь ацетонитрила и $0,1\%$ -ного водного раствора фосфорной кислоты. Кислотная среда элюента позволяет переводить янтарную кислоту в молекулярную форму, что обеспечивает наилучшее ее удерживание на обращено-фазном сорбенте. Второй же компонент, цетилпиридиния хлорид, обладает сродством к сорбенту C18 благодаря наличию в молекуле протяженной углеводородной цепи, которая обуславливает гидрофобный характер молекулы.

Так как исследуемая смесь содержит два различных по свойствам вещества, то целесообразнее всего применять способ градиентного элюирования. В начале хроматографирования доля ацетонитрила составляла 2%, что обеспечивало достижение оптимального коэффициента удерживания янтарной кислоты. После чего долю ацетонитрила равномерно увеличивали в течение 10 минут от 2 до 85% для обеспечения нормальных условий элюирования гидрофобного цетилпиридиния хлорида. Оптимальными условиями для хроматографирования являются: скорость потока 1 мл/мин, температура термостата колонки 30 °С. В результате время удерживания янтарной кислоты и цетилпиридиния составили 1,37 минут и 15,67 минут соответственно.

В дальнейшем будет рассмотрен анализ трех образцов янтарной кислоты производителя ООО «Алмаксфарм» тремя методами: определение температуры плавления, ИК-спектроскопия и метод ВЭЖХ.

Определение температуры плавления показало результаты, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Результаты определения температуры плавления

Вид образца	Температура плавления, °С	Серия
Порошок янтарной кислоты, образец № 1	186,6–188,8	002816
Порошок янтарной кислоты, образец № 2	186,0–187,6	010322
Порошок янтарной кислоты, образец № 3	186,4–187,4	010322

Согласно фармакопее 14 для реагента янтарная кислота температура плавления должна соответствовать интервалу от 184 до 187 °С. Все, из выше перечисленных образцов, входят в нижнюю границу предела, но также все выходят и за верхнюю границу интервала. В результате чего можно сделать вывод о том, что образцы содержат примеси.

Содержащиеся в образце примеси можно проанализировать с помощью качественных реакций на характерные данному веществу гомологи. Например, на содержание в препаратах шавелевой, малеиновой и фумаровой кислот. Для количественного определения янтарной кислоты можно использовать метод алкалометрии. Также необходимо провести анализ методом ВЭЖХ, который может достаточно точно показать наличие примесей в препарате.

По результатам инфракрасной спектроскопии были выявлены характерные полосы, представленные в табл. 2.

После анализа ИК-спектров подтверждено наличие –COOH-групп и групп –CH₂ и отсутствие каких-либо других характерных колебаний, что доказывает содержание в образцах янтарной кислоты.

Таблица 2. Результаты ИК-спектроскопии

Характерные полосы	Допустимый интервал	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Валентные асимметричные колебания $-CH_2-$ группы, cm^{-1}	2940–2915	2930	2931	2931
Валентные симметричные колебания $-CH_2-$ группы, cm^{-1}	2880–2845	2884	2881	2879
Валентные колебания $-OH-$ группы к кислоте, cm^{-1}	3300–2500	2739, 2630, 2534	2739, 2631, 2534	2739, 2630, 2536
Колебания $C=O-$ группы, cm^{-1}	1800–1650	1681	1682	1681
Колебания $-C-O-$ группы	1420, 1300–1200	1410, 1305, 1195	1410, 1305, 1196	1410, 1305, 1196
Деформационные колебания $-OH-$ группы в кислоте, cm^{-1}	955–890	905, 891	907, 891	907, 891

Для анализа образцов методом ВЭЖХ был использован хроматограф Perkin Elmer модели Serits 200. В качестве подвижной фазы использовался ацетонитрил с небольшим количеством (1-2%) фосфорной кислоты. Время хроматографирования составило 5,5 мин, при длине волны 210 нм и скорости потока 0,5 мл в минуту (табл. 3).

Таблица 3. Результаты ВЭЖХ

Результаты	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Время удерживания ацетонитрила, мин	3,32	3,31	3,30
Время удерживания янтарной кислоты, мин	4,50	4,48	4,41

Близкое время удерживания на хроматограммах свидетельствует о том, что во всех образцах находится одно и то же вещество, янтарная кислота.

Таким образом, проведенные исследования с помощью ИК-спектроскопии и ВЭЖХ не выявили наличие примесей в образцах лекарственных препаратов. Это противоречит результатам полученных диапазонов температуры плавления. Следовательно, необходимы дополнительные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иваненко О.И.* Янтарная кислота в биофармацевтике / О.И. Иваненко, Е.Н. Непряхина, Е.В. Юрова // Всерос. науч.-техн. конф. «Проблемы науки. Химия, химическая технология и экология». (Новомосковск, 31 октября – 2 ноября 2022 г.): сб. материалов. Тула: Аквариус, 2022. С. 660–665.
2. *Дворская О.Н.* Совместное определение янтарной кислоты и цетилпиридиния хлорида в пленках лекарственных методом градиентной высокоэффективной жидкостной хроматографии / О.Н.Дворская, Н.Н. Ножкина // Медицина. 2021. №2. С. 75–88.
3. *Тарасевич Б.Н.* ИК-спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М.: МГУ, 2012. 54 с.
4. Проект фармакопейной статьи «Супазитории с пантогаммом и кислотой янтарной «Пантоякс»» / Д.А. Сливкин, В.Ф. Дзюба, Е.Ю. Турбина, С.Н. Суслина, А.И. Сливкин, А.А. Смирных // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2012. № 2. С. 260–265.
5. *Смирнов А.В.* Янтарная кислота и ее применение в медицине. Часть I. Янтарная кислота: метаболит и регулятор метаболизма организма человека / А.В, Смирнов, О.Б. Нестерова, Р.В. Голубев // Нефрология. 2014. Т. 18, № 2. С. 33-35.

ПОЛУЧЕНИЕ 5-АМИНО-1-МЕТИЛПИРАЗОЛ-3,4-ДИКАРБОНИТРИЛА

Е.С. Иванова, О.Е. Насакин

Научный руководитель – **О.Е. Насакин**, д-р хим. наук, профессор

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Пятичленные азотосодержащие гетероциклы составляют структуры многих лекарственных препаратов и биологически активных природных компонентов, что обуславливает актуальность их получения. В поисках нового, относительно простого, одностадийного и наименее затратного метода циклизации нами проведена серия реакций тетрацианоэтилена с моно- и дизамещёнными гидразинами. Результатами эксперимента являются N-метилзамещённые пиразолы.

Ключевые слова: тетрацианоэтилен, несимметричный диметилгидразин, фенилгидразин.

OBTAINING 5-AMINO-1-METHYLPYRAZOLE -3,4-DICARBONITRILE

E.S. Ivanova, O.E. Nasakin

Scientific Supervisor – **O.E. Nasakin**, Doctor of Chemical Sciences, Professor

I.N. Ulyanov Chuvash State University

Five-membered nitrogen-containing heterocycles make up the structures of many drugs and biologically active natural components, which determines the relevance of their production. In search of a new, relatively simple, one-stage and least expensive method of cyclization, we carried out a series of reactions of tetracyanoethylene with mono- and disubstituted hydrazines. The results of the experiment are N-methyl substituted pyrazoles.

Keywords: tetracyanoethylene, asymmetric dimethylhydrazine, phenylhydrazine

Пиразольный гетероцикл 5-амино-N-метил-3,4-дициано-пиразол используется авторами публикации [1] для синтеза препарата-антагониста (аналога аденина), который проявляет биологическую активность в отношении различных видов онкологии [2], нейродегенеративных заболеваний.

Но первая стадия направленного синтеза – получение 5-амино-N-метил-3,4-дицианопиразола, достаточно затруднительна. Она предполагает взаимодействие метилгидразина с тетрацианоэтиленом [1].

Реакция протекает в водном растворе. Конверсия исходных компонентов в целевой продукт легко определяется цветной реакцией тетрацианоэтилена с гидрохиноном, с которым образуется π -комплекс синего цвета. Основными недостатками данного способа является длительность синтеза (перемешивание и нагревание в течение полутора часа), необходимость изменения стандартных условий для проведения реакции (понижение до 0 °С в течение часа, затем кипячение с обратным холодильником в течение 45 минут), трудоёмкость процесса, наличие изомеров в осадке (3-амино-4,5-дицианопиразол и 5-амино-N-метил-3,4-дицианопиразола), что усложняет выделение целевого продукта.

Также известен способ [2], включающий взаимодействие незамещенного по азоту производного пиразола с диметилсульфатом в водном растворе. Идеальный подбор растворителя является выгодным как в экономическом (вода - легкодоступный и дешевый растворитель), так и в синтетическом плане, поскольку нет необходимости отсутствия влаги, что достаточно сложно осуществить. Недостатками данного способа являются образование изомеров в реакционной смеси, что даёт низкий выход целевого продукта (8,2%), длительность, трудоёмкость, многостадийность процесса (получение 5-амино-3,4-дицианопиразола, затем целевого продукта), токсичность метилирующего агента - диметилсульфата [3], сложность в определении полноты протекания реакции (ТСХ).

Сложности в осуществлении синтеза наряду с востребованностью 5-амино-N-метил-3,4-дицианопиразола создают необходимость поиска альтернативного способа получения производного пиразола.

В связи с этим нами разработан новый способ получения целевого гетероцикла, который включает взаимодействие тетрацианоэтилена с моно- и ди- замещёнными гидразинами (N,N- диметилгидразином/фенилгидразином) и метанолом при комнатной температуре в течение 20-25 минут.

Рис. 1. Взаимодействие тетрацианоэтилена TCNE с гидразинами 1a,b

Разработанный способ осуществляется достаточно просто при стандартных условиях (при комнатной температуре 20 °С и давлении 1 атм.) с выходом целевых пиразолов 90-92%. Дополнительным техническим результатом является метод переработки, пришедшего в негодность топлива в ракетной промышленности - N,N-диметилгидразина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Structure determination of the N-methyl isomers of 5-amino-3,4-dicyanopyrazole and certain related pyrazolo[3,4-d]pyrimidines / S.M. Hecht, D. Werner, D.D. Trafficante, M. Sundaralingam, P. Prusiner, T. Ito, T. Sakurai // *The Journal of Organic Chemistry*. 1975. 40(12). P. 1815–1822. DOI: 10.1021/jo00900a029.
2. *Earl R.A.* Chemical and carbon-13 nuclear magnetic resonance reinvestigation of the N-methyl isomers obtained by direct methylation of 5-amino-3,4-dicyanopyrazole and the synthesis of certain pyrazolo[3,4-d]pyrimidines / R.A. Earl, R.J. Pugmire, G.R. Revankar, L.B. Townsend // *The Journal of Organic Chemistry*. 1975. 40(12). P. 1822–1828. DOI: 10.1021/jo00900a030.
3. *Лазарев Н.В.* Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. В 3 т. Т. 3 / Н.В. Лазарева, Э.Н. Левина. Изд. 7-е, пер. и доп. Органические вещества. М.: Химия, 1976. 592 с.

**ТЕРМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ
N-ФТАЛИМИДОАЗИРИДИНОВ
НА ОСНОВЕ α,β -НЕНАСЫЩЕННЫХ КЕТОНОВ**

А.С. Гаврилова, В.В. Сиднева, К.В. Реут

Научный руководитель – **Е.Р. Кофанов**, профессор, д-р хим. наук

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается получение N-фталимидаозиридинов на основе α,β -ненасыщенных кетонов. Исследуются реакции термических превращений N-фталимидаозиридинов.

Ключевые слова: окислительное фталимидаозиридинирование, азиридины, N-фталимидаозиридины, термолиз

**THERMAL REARRANGEMENTS
OF N-PHTHALIMIDOAZIRIDINES BASED
ON α,β -UNSATURATED KETONES**

A.S. Gavrilova, V.V. Sidneva, K.V. Reut

Scientific Supervisor – **E.R. Kofanov**, Doctor of Chemistry, Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper examines synthesis of N-phthalimidoaziridines from α,β -unsaturated ketones. The paper studies thermal rearrangements of N-phthalimidoaziridines.

Keywords: oxidative phthalimidoaziridination, aziridines, N-phthalimidoaziridines, thermolysis.

Целью данной работы является изучение термических превращений N-фталимидаозиридинов на основе α,β -ненасыщенных кетонов.

Азиридины представляют собой циклические амины; трехчленные гетероциклические соединения, содержащие два атома углерода и один атом азота. Азиридины легко раскрываются под действием нуклеофилов и являются хорошими алкилирующими агентами. В связи с этим они находят применение в качестве компонентов противоопухолевых лекарственных препаратов. Кроме того, азиридины являются важными промежуточными соединениями для органического синтеза, т.к. с помощью их

термического превращения можно получить большое число гетероциклических и ациклических соединений, не доступных другим способом.

В ходе работы был получен ряд *N*-фталимидазиридинов на основе α,β -ненасыщенных кетонов. Исходные кетоны были синтезированы по реакции Кляйзена-Шмидта. Реакция Кляйзена-Шмидта представляет собой частный случай альдольно-кетоновой конденсации, в которой в качестве исходных соединений используется ароматический альдегид и алифатический или алкиларилкетон, способный к ионизации по α -углеродному атому [1]. Реакцию проводили в среде этилового спирта в присутствии NaOH при температуре 20-30 °С.

Полученные α,β -ненасыщенные кетоны использовали для получения *N*-фталимидазиридинов методом окислительного фталимидазиридинирования. Реакцию проводили при температуре минус 10 °С в присутствии *N*-аминофталимида, в качестве окислителя использовали тетраацетат свинца (схема 1) [2].

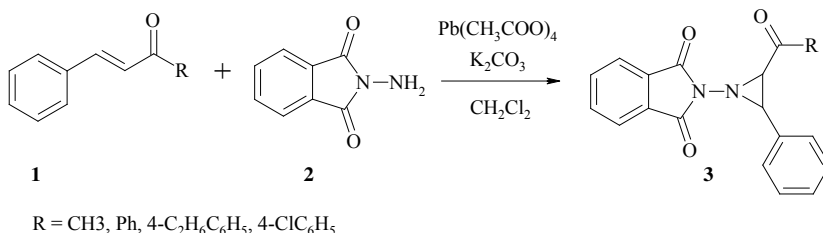


Схема 1. Реакции синтеза *N*-фталимидазиридинов

Полученные азиридины вводили в реакцию термоллиза. Для *N*-фталимидазиридинов возможны два типа термических превращений: перегруппировка в оксазолы и 1,3-диполярное циклоприсоединение к диполярофилам. Термическое раскрытие азиридинового цикла приводит к получению соответствующих азометинилидов, которые образуют оксазолы (5) при отщеплении фталимидного фрагмента [2].

При проведении реакции в присутствии диполярофила в результате конротаторного разрыва связи С-С в молекуле *N*-фталимидазиридина образуется 1,3-диполь, который в результате последующего присоединения к диполярофилу образует *cis*-4,6-дизамещенный продукт. Реакцию проводили в среде толуола при температуре кипения смеси, в качестве диполярофила использовали *N*-фенилмалеимид (схема 2).

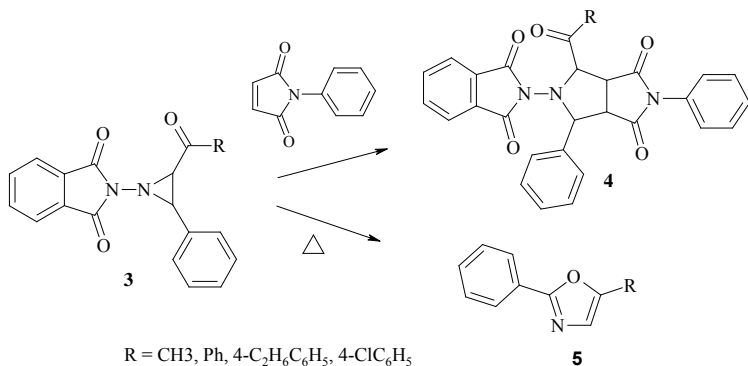


Схема 2. Реакции термоллиза *N*-фталимидазиридинов

Строение и чистота полученных соединений подтверждены с помощью физико-химических методов анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Травень В.Ф.* Практикум по органической химии: учебное пособие / В.Ф. Травень, А.Е. Щекотихин. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 592 с.
2. *Кузнецов М.А.* Внутри- и межмолекулярные термические превращения 2-ацил- и 2-алкоксикарбонил-*N*-фталимидазиридинов / М.А. Кузнецов, В.В. Воронин // *Химия гетероциклических соединений*. 2011. № 2. С. 219-230.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДЛИННОСТИ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ СУЛЬФАНИЛАМИДА

Ю.К. Горячева, Н.В. Макарова, Н.С. Кичева

Научный руководитель – **Н.С. Кичева**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Спектрометрическими методами подтверждена подлинность лекарственных препаратов, содержащих сульфаниламид. Определена температура плавления образцов. Анализ полученных данных показал, что все образцы содержат сульфаниламид.

Ключевые слова: сульфаниламид, подлинность, ИК-спектрометрия, УФ-спектрометрия, температура плавления.

IDENTIFICATION OF DRUGS BASED ON SULFANILAMIDE

Y.K. Goryacheva, N.V. Makarova, N.S. Kicheva

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

Yaroslavl State Technical University

The authenticity of drugs containing sulfanilamide is confirmed by spectrometric methods. The melting point of the samples was determined. Analysis of the obtained data showed that all samples contain sulfanilamide.

Keywords: sulfanilamide, authenticity, IR spectrometry, UV spectrometry, melting point

Антибактериальные свойства сульфаниламида давно известны. Существует более 25 производных данного соединения. Применяется в производстве лекарственных препаратов для человека и ветеринарии. Сульфаниламид обладает широким спектром антимикробного действия. Потребителям лекарственный препарат известен под названием стрептоцид. Нами были закуплены образцы лекарственных препаратов разных производителей с разными торговыми названиями. Объединила их лекарственная форма, это порошок, используемые для наружного применения [1].

Испытания указанной формы лекарственного препарата начинают с испытаний на подлинность [2]. В Государственной фармакопее РФ (ГФ РФ) для идентификации сульфаниламида рекомендованы следующие методы анализа: инфракрасная спектрометрия в диапазоне от 4000 до 400 см⁻¹, спектрометрия в УФ-области, качественные реакции на первичные ароматические амины. Кроме того, для органических соединений в твердом агрегатном состоянии важным показателем чистоты является диапазон температуры плавления.

ИК-спектры испытуемых образцов получены в межкафедральной лаборатории ЯГТУ на ИК-Фурье спектрометре. Спектры образцов показывают наличие полос, характерных для аминных групп в диапазоне 3265-3476 см⁻¹, интенсивная полоса поглощения 1627 см⁻¹. Кроме того обнаружены полосы, относящиеся к сульфогруппе – это 1304 и 1143 см⁻¹. Получен ИК-спектр стандартного образца сульфаниламида. Проведен анализ спектров всех образцов со спектром в приложении Государственной Фармакопее. Сопоставление полос поглощения показало, что идентифицируемое вещество действительно является сульфаниамидом.

В фармакопейной статье ГФ РФ идентификация сульфаниламида в ультрафиолетовой области возможна в двух вариантах: в растворе гидроксида натрия и в растворе соляной кислоты. Для анализа мы выбрали второй вариант. Нами были приготовлены сильноразбавленные растворы, концентрация 0,015% в растворе соляной кислоты с концентрацией 1 моль/дм³. У пяти образцов были зафиксированы максимумы поглощения около 265 и 270 нм, минимумы поглощения при 240 и 268 нм, также плечо в области 257–261 нм. У других двух образцов максимумы и минимумы отличались от указанных ранее. Полученные данные соответствуют полосам поглощения в фармакопейной статье на сульфаниамид.

Определена температура плавления всех образцов [3]. Температура плавления согласно фармакопейной статье ФС.2.1.0038.15 должна быть в диапазоне 164–167 °С. Данные представлены в табл. 1.

У трех образцов температура плавления находится в указанном диапазоне. У других четырех нижний предел меньше 164 °С. Образец 5 имеет самый большой диапазон температуры плавления. Это говорит о наличии в нем примесей. Однако вышеуказанные методы не выявили наличие посторонних веществ.

Качественный анализ на первичные амины [4] провести не удалось из-за отсутствия β-нафтола. Оранжевый раствор и оранжевый осадок получить не удалось.

Таблица 1. Результаты определения температуры плавления

Номер образца	Температура плавления, °С	Серия
1	164,3–166,4	072027
2	164,3– 65,3	062027
3	163,4–165,6	170822
4	161,1–166,3	040620
5	160,0–166,9	270922
6	162,7–166,8	060920
7	164,0–166,7	010822

Таким образом, спектральные методы анализа показали, что образцы порошков, содержат сульфаниламид. Данные температуры плавления указывают на наличие примесей в образцах лекарственных препаратов.

Необходимы дополнительные исследования для определения родственных примесей методом тонкослойной хроматографии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Поваров И.Г.* Получение новых сульфаниамидов на основе новых производных аминопиразолов / И.Г. Поваров, В.В. Ефимов, А.В. Любашкин, А.С. Кошицына, Г.А. Субоч, М.С. Товбис // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Химия. 2019. №2. С. 240–247.
2. ФС.2.1.0038.15. Сульфаниламид.
3. ОФС.1.2.1.0011.18. Температура плавления.
4. ОФС.1.2.2.0001.15. Общие реакции на подлинность.

АЦИЛИРОВАНИЕ 2,3-ДИФЕНИЛАЗИРИДИН-1-АМИНА

А.Д. Ермолина, Е.Э. Павлова, В.В. Сиднева

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

Ярославский государственный технический университет

В данной работе рассматриваются реакции синтеза 2-[2,3-дифенилазиридин-1-ил]-1H-изоиндол-1,3(2H)-диона, гидролиза N-фталимидазиридина, ацилирования полученного аминиазиридина.

Ключевые слова: азиридины, N-фталимидазиридины, окислительное N-фталимидазиридинирование, N-аминоазиридины, ацилирование аминов, биологическая активность

ACYLATION OF 2,3-DIPHENYL AZIRIDINE-1-AMINE

A.D. Ermolina, E.E. Pavlova, V.V. Sidneva

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

Yaroslavl State Technical University

In this paper, the reactions of synthesis of 2-[2,3-diphenylaziridine-1-yl]-1H-isoindole-1,3(2H)-dione, hydrazinolysis of N-phthalimidoaziridine, acylation of the resulting aminiaziridine are considered.

Keywords: aziridines, N-phthalimidoaziridines, oxidative N-phthalimidoaziridination, N-aminoaziridines, acylation of amines, biological activity.

Лидирующее положение среди биологически активных веществ занимают соединения, содержащие гетероциклические фрагменты. В связи с этим большой интерес представляют азиридины и их производные, которые обладают широким спектром фармакологических свойств [1]. Поэтому перспективными направлениями научных исследований является поиск эффективных методов синтеза азиридинов, а также разработка новых превращений этих соединений.

Целью данной работы является синтез N,N-(2,3-дифенилазиридин-1-ил)ацетамида и прогнозирование его биологической активности.

На первой стадии был получен N-фталимидазиридина 2-[2,3-дифенилазиридин-1-ил]-1H-изоиндол-1,3(2H)-дион **2** по реакции окислительного присоединения N-аминофталимида к непредельно-

му соединению **1** (схема 1) [2]. Реакцию проводили при температуре 25 °С в дихлорметане в течение 3 часов, в качестве окислителя использовали тетраацетат свинца.

2,3-Дифенилазиридин-1-амин **3** получали гидразинолизом соединения **2** при температуре 20-25 °С в среде этилового спирта в течение 1 часа [3]. Амин **3** был выделен в виде светло-желтого кристаллического вещества.

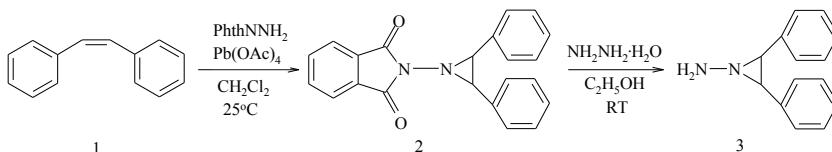


Схема 1. Синтез *N*-аминоазиридина

Далее 2,3-дифенилазиридин-1-амин **3** ацилировали уксусным ангидридом. Реакцию проводили температуре 20-25 °С в течение 3 часов, в качестве растворителя использовали дихлорметан (схема 1). Для нейтрализации образующейся уксусной кислоты в реакцию смесь вводили прокаленный K_2CO_3 .

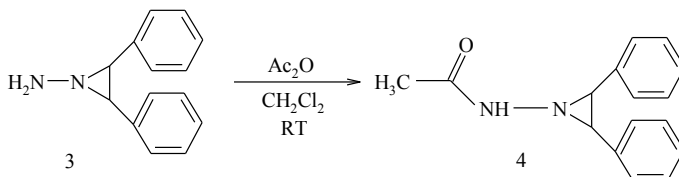


Схема 2. Синтез *N*-(2,3-дифенилазиридин-1-ил)ацетамида

Структура всех полученных соединений подтверждена с помощью ИК-спектроскопии. Выход продукта по стадиям процесса приведен в табл. 1.

Таблица 1. Выход продукта по стадиям процесса

Стадия	Название продукта	Выход, %
1 стадия	2-[2,3-дифенилазиридин-1-ил]-1 <i>H</i> -изоиндол-1,3(2 <i>H</i>)-дион	68
2 стадия	2,3-дифенилазиридин-1-амин	76
3 стадия	<i>N</i> -(2,3-дифенилазиридин-1-ил)ацетамид	62

Для предсказания спектра биологической активности полученного соединения по структурной формуле была использована программа «PASS Online». С высокой долей вероятности *N*-(2-фенилазиридин-1-ил)ацетамид обладает ноотропным действием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Солдатенков А.Т.* Основы органической химии лекарственных веществ / А.Т. Солдатенков, Н.М. Колядина, И.В. Шендрик. М.: Химия. 2001. 192 с.
2. *Kuznetsov M.A.* Oxidative aminoaziridination: past, present, and future / L.M. Kuznetsova, A.S. Pankova // *Tetrahedron Letters*. 2016 Vol. 57 P. 3575-3585.
3. *Бландов А.Н.* Химия N-аминоазиридинов. Часть 1. Методы синтеза // Журнал НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 1 (19).

**ПОДХОД К СИНТЕЗУ ШЕСТИЧЛЕННОГО
КОНДЕНСИРОВАННОГО ЛАКТОНА
НА ОСНОВЕ ДИГИДРОТИОПИРАНА**

**М.А. Заколodka, С.Ю. Шлякова, А.В. Колобов,
В.В. Мартазова**

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

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрен синтез на основе α,β -ненасыщенных карбонильных соединений нового производного 3,4-дигидро-2H-тиопирана, представляющего интерес в качестве потенциального биологически активного вещества.

***Ключевые слова:** 3,4-дигидро-2H-тиопираны, α,β -ненасыщенные карбонильные соединения, реактив Лавессона*

**AN APPROACH TO THE SYNTHESIS
OF SIX-MEMBERED CONDENSED LACTONE
BASED ON DIHYDROTHIOPYRANS**

**M.A. Zakolodkina, S.U. Shlyakova, A.B. Kolobov,
V.V. Martazova**

Scientific Supervisor – **A.B. Kolobov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

The synthesis of a new 3,4-dihydro-2H-thiopyrane derivative based on α,β -unsaturated carbonyl compounds, which is of interest as a potential biologically active substance, is considered.

***Keywords:** 3,4-dihydro-2H-thiopyrans, α,β -unsaturated carbonyl compounds, Lawesson's reagent*

Производные 3,4-дигидро-2H-тиопиранов представляют значительный интерес, обусловленный их высокой фармакологической активностью, а также возможностью их дальнейшего использования в синтезе гетероциклических соединений. Среди производных тиопиранов выявлены вещества обладающие противоопухолевой, противомикробной, противовирусной, антиатеросклеротической и другими видами активностей [1].

Цель данной работы – получение нового 6-членного конденсированного лактона на основе дегидропирирана.

Для синтеза 3,4-дигидро-2Н-тиопираны использовали α,β -ненасыщенные карбонильные соединения, которые были получены нами по известной методике кротоновой конденсацией с участием формил- и ацетилсодержащих соединений (схема 1) [2].

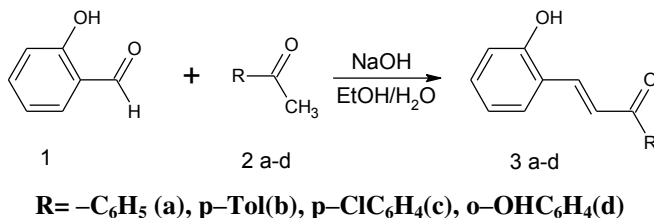


Схема 1

Взаимодействие салицилового альдегида с замещенными ацетофенонами **2 (a-d)** в водно-спиртовом растворе щелочи (реакция Кляйзена-Шмидта) приводило к образованию α,β -непредельных кетонов с хорошими выходами.

Синтез соединений **6 a,b** проводили с использованием гетерореакции Дильса-Альдера. Поскольку реакция проводится с применением реактива Лавессона, незащищенная гидроксильная группа может вступать во взаимодействие, что приводит к образованию маслянистой смеси продуктов, трудно поддающейся очистке и разделению. Защиту OH-группы проводили *o*-ацилированием α,β -непредельного кетона **3a** ангидридом уксусной кислоты в присутствии ацетата натрия (схема 2).

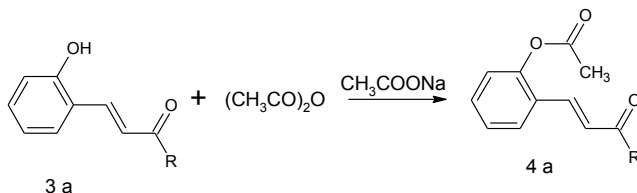


Схема 2

Получение новых производных 3,4-дигидро-2Н-тиопиранов осуществляли в осушенном толуоле при повышенной температуре в присутствии реактива Лавессона в качестве осерняющего агента. В качестве диенофилов нами были выбраны производные малеиновой кислоты (схема 3).

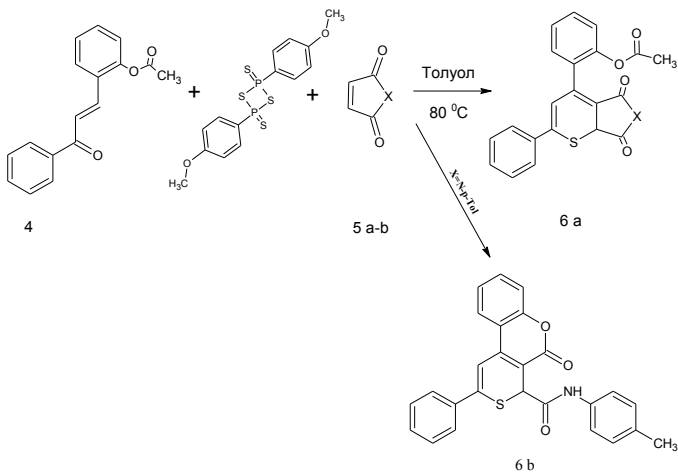


Схема 3

Реакция с ангидридом малеиновой кислоты **5 а** приводит к ожидаемому продукту **6 а**, строение которого подтверждено совокупностью физико-химических методов анализа. А в случае имида малеиновой кислоты **5 б** нами получены неожиданные результаты. В ЯМР ¹H – спектрах присутствуют две группы сигналов. Одна соответствует продукту **6 б** (две метильные группы одинаковой интенсивности и др). Другая группа соответствует соединению не имеющему метильной группы. Предположительно образовался лактон с участием гидроксильной группы ранее защищённой ацетильной. Соотношение продукт/лактон = 2/1. Получение соединения **6 б** требует дальнейшего исследования.

Попытка снять защиту гидроксильной группы щелочным гидролизом тиопирана **6а** привела нас к образованию соединения **7а** с выходом 32% (схема 4).

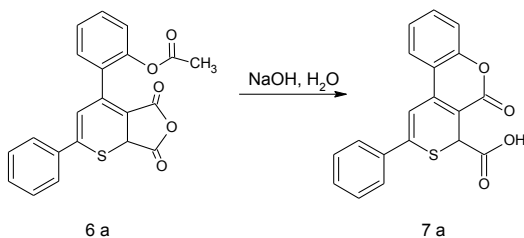


Схема 4

В ИК-спектре соединения **7a** имеются характеристические полосы поглощения, соответствующие колебаниям гидроксильной группы. ¹H ЯМР-спектр также не противоречит строению соединения **7a**, но необходимо проведение дополнительных физико-химических анализов для подтверждения строения целевого продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Степкина Н.Н.* Зависимость биологической активности халконов от их строения / Н.Н. Степкина, А.В. Великородов // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 11-3. С. 505-510
2. *Нуркенов О.А.* Синтез и изучение новых биологически активных производных халконов // Карагандинский технический университет. Караганда, 2020. С. 41.
3. *Merkulova E.A.* A convenient synthesise of 3,4-dihydro-2H-thiopyran-2,3-dicarboxylic acid derivatives / E.A. Merkulova, A.V. Kolobov, K.L.Ovchinnikov // *Russian Chemical Bulletin, International Edition*. Vol. 68, no. 3. P. 606-609.
4. Синтез и свойства соединений ряда 3,4-дигидро-2H-тиопирана / А.В. Колобов, Е.А. Меркулова, О.А. Беляева, В.Г. Ненайденко, К.Л. Овчинников // *Актуальные вопросы органической химии и биотехнологии: материалы очных докл. междунар. науч. конф.* (Екатеринбург, 18–21 ноября 2020 г.). Екатеринбург: Издательство АМБ, 2020. С. 361-362.
5. *Bablich H.* Ueber Oxybenzal-acetophenone / H. Bablich, St.V. Kostanecki. *Eingegangen am 24. Januar.*, 233-236

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ АЛКИЛИРОВАНИЯ АРЕНОВ ЦИКЛОАЛКЕНДИКАРБОНОВЫМИ КИСЛОТАМИ

**П.В. Иващенко, А.Р. Прокопцева, А.А. Фирстова,
Е.Р. Кофанов**

Научный руководитель – **А.А. Фирстова**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются способы синтеза мономеров для полиамидов и полиэфиров, содержащих циклоалифатический фрагмент.

Ключевые слова: алкилирование по Фриделю-Крафтсу, циклоалкендикарбоновые кислоты, циклоалифатический фрагмент

ON THE FEATURES OF THE ALKYLATION OF ARENES WITH CYCLOALKENEDICARBOXYLIC ACIDS

**P.V. Ivashchenko, A.R. Prokopceva, A.A. Firstova,
E.R. Kofanov**

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

Yaroslavl State Technical University

The paper examines methods of synthesis of monomers for polyamides and polyesters containing a cycloaliphatic fragment are considered.

Keywords: Friedel-Crafts alkylation, alkenedicarboxylic acids, cycloaliphatic fragment

Полиэфиры и полиамиды занимают важную роль во всех отраслях промышленности: в лакокрасочном и оборонном производствах, авиационной промышленности, при производстве различной техники и лекарственных средств.

Ароматические полиамиды и полиэфиры обладают превосходными термическими и механическими свойствами, которые объясняются наличием сильных водородных связей между амидными группами и высокой жесткостью полимерных цепей, образованных ароматическими группами. Однако обработка таких макромолекул затруднена из-за высо-

кой температуры их размягчения и нерастворимости в большинстве органических растворителей.

Обычный способ получения сложных полиэфиров представляет взаимодействие в растворе или межфазной реакции хлорангидридов дикарбоновых кислот с диолами в жестких условиях (высокая температура и пониженное давление). Процессы, протекающие в мягких условиях и пригодные для прямой поликонденсации свободных карбоновых кислот и ароматических диолов, могут быть более полезными методами полиэтерификации [1].

Нами были предложены структуры, содержащие гидрокси- и карбоксильные группы, ароматический и циклоалифатический фрагменты. На основе таких структур возможен синтез разнообразных полиэфиров и полиамидов с новыми улучшенными свойствами и высокими эксплуатационными характеристиками.

Благодаря включению гибких эфирных связей в основную цепь полиэфирона не только сохраняет превосходные физические свойства, но и обеспечивает значительно улучшенную технологичность, что нельзя достичь в ароматических полиамидах [2].

Еще одним значимым методом улучшения технологии переработки полимеров является сополимеризация. Она считается эффективным методом модификации химических структур полиамидов и полиэфиров для улучшения их технологичности. Объединение двух функциональных групп одном полимере позволяет использовать индивидуальные свойства мономеров.

Целью работы является разработка синтезаномеров для полиамидов и полиэфиров, содержащих циклоалифатический фрагмент (схема 1).

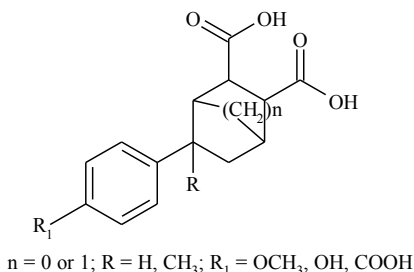


Схема 1

Одним из способов создания таких структур является алкилирование ароматических соединений алкенами. Ранее в статье [3] было показано, что алкилирование бензола алкендикарбоновыми кислотами с норборнанным и циклогексановым фрагментами протекает с высоким вы-

ходом при комнатной температуре и с использованием в качестве катализатора хлорида алюминия.

Нами была изучена реакция алкилирования аренов по Фриделю-Крафтсу, а именно определены температура, время реакции и катализатор. Структура и чистота полученных соединений подтверждены методами ИК- и ЯМР-спектроскопии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gan D.* Formation of nanoporous poly(aryl amide ether) (PAAE) films by selective removal of poly(ethylene glycol) (PEG) from PEG/PAAE composite films / D. Gan, S. Luand, W.W. Cao // *Eur. Polym. J.* 2004. No. 40. P. 2481-2486.
2. *Malakpour S.* Direct polycondensations of N,N'-(4,4'-oxydiphthaloyl)- bis-L-leucine diacid by use of tosyl chloride in the presence of N,N-dimethylformamide // S. Malakpour, E. Kosari // *Polym. Adv. Technol.* 2005. No. 16. P. 795-799.
3. Simple and efficient synthesis of new tricarboxylic acids bearing cyclohexane and norbornane fragments / A.A. Firstova, E.R. Kofanov, G.G. Krasovskaya, A.S. Danilova // *Russian Chemical Bulletin.* 2017. No. 5. P.867-869.

СИНТЕЗ 6-АРИЛ-2H-ТИОПИРАН-3-КАРБАЛЬДЕГИДОВ – ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ АГЕНТОВ

**И.Д. Карпов, Д.А. Огородников, К.Л. Овчинников,
В.В. Плахтинский**

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

Ярославский государственный технический университет

Исследована реакция Дильса-Альдера вицинальных электродефицитных алкенов с 1-арил-3-(диметиламино)проп-2-ен-1-тионами, получаемыми тионированием β-енаминов реагентом Лавессона. При использовании в качестве диенофила акролеина и проведении процесса однореакторным способом получены 6-арил-2H-тиопиран-3-карбальдегиды. По результатам скрининга в системе PASS Online показано, что последние могут выступать в качестве ингибиторов обратного захвата нейромедиаторов.

Ключевые слова: синтез 2H-тиопиранов, тионирование енаминов, гетерореакция Дильса-Альдера, однореакторный синтез, биоактивность.

SYNTHESIS OF 6-ARYL-2H-THIOPYRAN-3- CARBALDEHYDES – POTENTIAL BIOLOGICALLY ACTIVE AGENTS

**I.D. Karpov, D.A. Ogorodnikov, K.L. Ovchinnikov,
V. V. Plakhtinskii**

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

Yaroslavl State Technical University

We studied the Diels-Alder reaction of vicinal electron-deficient alkenes with 1-aryl-3- (dimethylamino)prop-2-en-1-thiones obtained by thionation of β-enaminones with Lavesson's reagent. Using acrolein as a dienophile and carrying out the process in a one-pot manner, we obtained 6-aryl-2H-thiopyran-3-carbaldehydes. Based on the results of screening in the PASS Online system, we found that the latter can act as neurotransmitter reuptake inhibitors.

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

Вещества класса *2H*-тиопиранов интересны своей фармакологической активностью. В недавнем обзоре [1] представлен широкий круг биоактивностей, свойственных данным соединениям. В рамках развития разработанного нами одnoreакторного метода синтеза *2H*-тиопиранов по реакции Дильса-Альдера на основе енаминокетонов [2] перспективным направлением является получение продуктов с функциональными группами, удобными для дальнейшей трансформации, в частности, альдегидной, карбоксильной и амидной группой.

Поскольку в рамках одnoreакторного синтеза нам не удалось выделить продукты циклоприсоединения тиоенаминонов с малоактивными диенофилами (циннамаль, бензальацетон), мы предположили, что менее стерически затрудненные вицинальные элетронодефицитные алкены будут более активны в этой реакции. В литературе есть примеры введения в подобную реакцию акролеина, [3], акрилонитрила, метилакрилата [4], акриламида и метилвинилкетона [5].

Таким образом, на основе β -енаминонов **1a,b** при использовании в качестве диенофила акролеина нами успешно были синтезированы новые представители 6-арил-*2H*-тиопиран-3-карбальдегидов **2a,b** с хорошим выходом (схема 1).

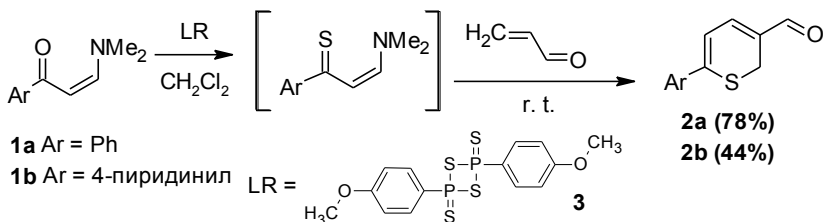


Схема 1. Синтез 6-арил-*2H*-тиопиран-3-карбальдегидов

Попытки провести аналогичную реакцию енамина **1a** с акриловой кислотой и акриламидом привели лишь к образованию трудноразделимой смеси продуктов, что вероятно, обусловлено побочной реакцией нуклеофильных карбоновых кислот и незамещенных амидов с сопряженными продуктами от реагента Лавессона **3**.

Полученные новые представители *2H*-тиопиранов были протестированы в программе PASS Online. В качестве критериев отбора были приняты значения вероятности наличия активности (Pa) > 0,75 и отсутствия активности (Pi) < 0,02, результаты представлены в таблице 1. Из результатов скрининга видно, что альдегиды **2a,b** могут потенциально выступать ингибиторами обратного захвата нейромедиаторов, таким образом, они интересны для исследований на психоактивность.

Таблица 1. Результаты тестирования в системе PASS Online

Вещество	Pa	Pi	Биологическая активность
2a	0,890	0,002	Ингибитор обратного захвата нейромедиаторов
	0,877	0,005	Ингибитор альдегидоксидазы
	0,864	0,004	Ингибитор D фактора комплемента
	0,780	0,004	Ингибитор фосфатазы
	0,773	0,018	Ингибитор гликозилфосфатидилинозитолфосфолипазы D
2b	0,749	0,006	Ингибитор аспартат-фенилпируваттрансаминазы
	0,826	0,004	Ингибитор обратного захвата нейромедиаторов
	0,774	0,018	Ингибитор гликозилфосфатидилинозитолфосфолипазы D

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pathania S. Role of sulphur-heterocycles in medicinal chemistry: An update / S. Pathania, R. Kumar Narang, R. K. Rawal // European Journal of Medicinal Chemistry. 2019. Vol. 180, iss. 15. P. 486–508.
2. Карпов И.Д. Синтез 2H-тиопиранов на основе 2-метил-3-(N-пирролидинил)-1-фенилпроп-2-ен-1-она / И. Д. Карпов, Е. В. Миронов, К. Л. Овчинников // Науч.-практ. конф. им. Д. И. Менделеева. (24-26 ноября 2022 г., Тюмень): сб. материалов конф. В. 3 т. Т. 1. Тюмень: Изд-во ТИУ, 2022. С. 193-195.
3. Greif D. Die Synthese von 2H-Thiopyranen aus β -Thioxoaldehyden / Greif, M. Pulst, M. Weißenfels // Synthesis. 1987. Iss. 5. P. 456–460.
4. Singh P. Cycloaddition reactions of cross-conjugated enamines / P. Singh, P. Sharma, K. Bisetty, M, P.Mahajan // Tetrahedron. 2009. Vol. 65, iss. 41. P. 8478–8485.
5. Pradere J.P. Enchainements heteroatomiques et leurs produits de cyclisation—III: Réactions de Diels-Alder entre vinylogues de thioamides et diénophiles acryliques fonctionnels linéaires et cycliques. Propriétés chimiques des 2H-thiopyranes liées aux substituants en position 2 et 3 / J.P. Pradere, Y.T. N'Guessan, H.Quiniou, F.Tonnard // Tetrahedron. 1975. Vol. 31, iss. 24. P. 3059–3064.

СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ 2-ФЕНИЛАЗИРИДИН-1-АМИНА

А.А. Клюкина, А.Д. Ермолина, В.В. Сиднева

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

Ярославский государственный технический университет

В данной работе рассматривается реакция гидразинолиза 2-(2-фенилазиридин-1-ил)-1H-изоиндол-1,3(2H)-диона, ацилирование полученного аминазиридина, прогнозируется биологической активности N-(2-фенилазиридин-1-ил)ацетамида.

***Ключевые слова:** азиридины, N-фталимидоазиридины, окислительное N-фталимидоазиридинирование, N-аминоазиридины, ацилирование аминов, биологическая активность*

SYNTHESIS OF DERIVATIVES OF 2-PHENYL AZIRIDINE-1-AMINE

A.A. Klyukina, A.D. Ermolina, V.V. Sidneva

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

Yaroslavl State Technical University

This paper considers the reaction of hydrazinolysis of 2-(2-phenylaziridine-1-yl)-1H-isoindole-1,3(2H)-dione, acylation of the resulting aminaziridine, prediction of the biological activity of N-(2-phenylaziridine-1-yl)acetamide.

***Keywords:** aziridines, N-phthalimidoaziridines, oxidative N-phthalimidoaziridination, N-aminoaziridines, acylation of amines, biological activity*

Одним из направлений создания новых синтетических лекарственных средств является введение фармакоформных групп в молекулу известного вещества.

Так, например, N-аминоазиридины сочетают в своей структуре фрагменты азиридина и гидразина. Такие соединения могут применяться для лечения онкологических заболеваний, туберкулеза, а также в качестве антисептических средств [1].

Химическая модификация по аминогруппе и получение производных *N*-аминоазиридина позволяет синтезировать соединение с новыми биологическими свойствами.

Целью данной работы является получение ацильных производных 2-фенилазиридин-1-амина (схема 1).

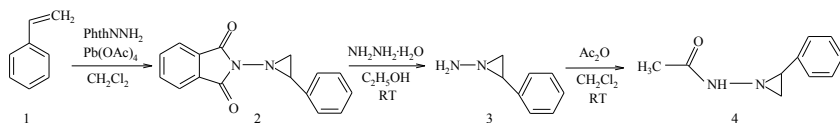


Схема 1. Синтез *N*-ациламиноазиридина

Для синтеза *N*-аминоазиридина **3** нами был использован *N*-фталимидоазиридин – 2-(2-фенилазиридин-1-ил)-1*H*-изоиндол-1,3(2*H*)-дион **2**, полученный по реакции окислительного фталимидоазиридинирования стирола [2]. Смесь стирола и растворителя хлористого метилена охлаждали до 0 °С, затем порциями вводили *N*-аминофталимид и тетраацетат свинца, далее реакцию проводили при комнатной температуре в течение 2 часов при соотношении (моль) реагентов *N*-аминофталимид : стирол: Pb(OAc)₄ = 1:1:1,2. Выход 2-(2-фенилазиридин-1-ил)-1*H*-изоиндол-1,3(2*H*)-диона **2** составил 49 %.

Для получения *N*-аминоазиридина использовали реакцию гидразинолиза [3]. *N*-Фталимидоазиридин **2** вводили в реакцию с гидразингидратом в присутствии растворителя этилового спирта, реакцию проводили при температуре 20-25 °С в течение часа.

Было обнаружено, что полученный *N*-аминоазиридин неустойчив при комнатной температуре, поэтому дальнейший процесса цилирования осуществлялся без его выделения как индивидуального вещества. В качестве ацилирующего агента был использован уксусный ангидрид, в присутствии растворителя хлористого метилена, реакция проводилась при комнатной температуре в течение 3 часов. После испарения растворителя, аминазиридин был выделен в виде масла желтого цвета.

Структура полученных соединений подтверждена методом ИК-спектроскопии.

С помощью программы «PASS Online» было проведено прогнозирование биологической активности полученного соединения. С высокой долей вероятности *N*-(2-фенилазиридин-1-ил)ацетамид обладает ноотропным действием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Солдатенков А.Т.* Основы органической химии лекарственных веществ / А.Т. Солдатенков, Н.М. Колядина, И.В. Шендрик. М.: Химия. 2001. 192 с.
2. *Kuznetsov M.A.* Oxidative aminoaziridination: past, present, and future / L.M. Kuznetsova, A.S. Pankova // *Tetrahedron Letters*. 2016. Vol. 57. P. 3575-3585.
3. *Бландов А.Н.* Химия N-аминоазиридинов. Ч. 1. Методы синтеза // *Журнал НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств*. 2014. № 1 (19).

ВАЛИДАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ

Т.Р. Козак, Ю.Р. Юсифова, О.С. Горячева

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

Ярославский государственный технический университет

Изучены трансфер и валидация методики по показателю «Однородность дозирования». Отчет о валидации включает в себя полные характеристики валидированной методики. Результаты исследования показывают, что трансфер прошел успешно.

Ключевые слова: валидация, аналитическая методика, лекарственный препарат, однородность дозирования, относительное стандартное отклонение, критерий приемлемости

VALIDATION OF ANALYTICAL METHODOLOGY

T.R. Kozak, Y.R. Yusifova, O.S. Goryacheva

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

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

The transfer and validation of the methodology in terms of "Dosing Uniformity" have been studied. The validation report includes the full specifications of the validated method. The results of the study show that the transfer was successful.

Keywords: validation, analytical method, medicinal product, dosing uniformity, relative standard deviation, acceptance criterion

Валидация аналитической методики представляет собой экспериментальное доказательство пригодности метода для решения поставленных задач [1].

Валидация аналитического метода проводится как при внедрении новой методики при разработке новых объектов исследования, так и при изменении условий анализа. При изменении технологии получения объекта исследования, состава объекта, ранее утвержденной аналитической методики проводят повторную валидацию (ревалидацию) [1-3].

Методологическая часть нормативной документации по валидации аналитических методик состоит из определения параметров валидации. Такими параметрами являются специфичность, точность, воспроизводимость, предел обнаружения, линейность, устойчивость, сходимостъ результатов [4-5].

Валидационная оценка методики определения может проходить как по всем указанным параметрам валидации, так и по отдельным в зависимости от метода измерения, специфичности объектов исследования, назначения аналитической методики. Каждый этап проведения валидации аналитической методики документируется и утверждается. Лаборатории, участвующие в валидации, должны быть обеспечены необходимыми ресурсами, а персонал должен иметь квалификацию, необходимую для проведения испытаний.

Валидация аналитического метода оформляется и подтверждается лабораторными исследованиями. Отчет о результатах проведенных валидационных исследований предоставляется в виде протокола о валидации анализа. В отчете о валидации аналитической методики указывается полное описание, достаточное для её воспроизведения, оцениваемые характеристики, результаты экспериментов и статистическая обработка полученных данных, иллюстративные материалы, заключение о пригодности валидируемой методики для включения в нормативные документы [6].

Рассмотрим показатель «Однородность дозирования» для препарата, осуществляющего трансфер методики.

В данном случае контроль по данному показателю выполняется не только в готовом продукте (ГП), но и в нерасфасованном продукте (НП) в нескольких отборах.

Методика контроля данного показателя следующая: определяют массу каждой таблетки, а также среднюю массу таблеток в целом на специальном приборе, после чего проводят контроль по показателю «Количественное содержание», получают также среднее значение, которое потом используется в расчётах показателя «Однородность дозирования». Данный метод носит название – определение «Однородности дозирования» по массе.

В таблице 1 RSD (%) - относительное стандартное отклонение, то есть отношение стандартного отклонения к средней концентрации выборки. AV (%) – критерий приемлемости на разных стадиях проведения контроля по данному показателю.

Таблица 1. Результаты трансфера по показателю «Однородность дозирования»

Номер испытуемого образца	Количественное содержание, %				
	НП 1 отбор	НП 2 Отбор	НП 3 отбор	НП 4 отбор	ГП
1	103,8	101,6	100,3	99,0	99,7
2	103,4	103,6	100,1	99,1	97,8
3	103,0	103,1	100,1	100,2	99,2
4	104,8	103,0	99,7	99,7	96,5
5	105,4	102,0	101,2	99,1	97,4
6	102,5	101,0	100,7	100,8	98,2
7	103,7	102,6	100,2	100,3	98,1
8	104,1	102,0	100,1	99,3	99,1
9	102,9	101,0	101,2	100,0	99,0
10	103,4	101,1	99,8	100,4	97,7
Среднее значение, %	103,7	102,1	100,3	99,8	98,3
RSD, %	0,9	0,9	0,5	0,6	1,0
AV, %	4,3	2,8	1,3	1,5	2,6

По результатам нашего исследования можно сделать вывод, что трансфер методики по данному показателю прошёл успешно, поскольку в каждом отборе нерасфасованного продукта и в готовом продукте RSD между испытываемыми растворами составляет менее 2,0%, значение AV находится в пределах – не должно быть более 15,0% на стадии 1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Эпштейн Н.А.* В. О требованиях к пригодности хроматографической системы при контроле качества лекарственных субстанций и препаратов методом ВЭЖХ / *Н.А. Эпштейн, С.В. Емшанова* // Химико-фармацевт. журнал. 2018. № 11. С. 34-40.
2. Руководство для предприятий фармацевтической промышленности: методические рекомендации / под ред. *Н.В. Юргеля, А.Л. Младенцева, А.В. Бурдейна* [и др.]. М.: Изд-во «Спорт и Культура», 2007. 192 с.
3. ОФС.1.1.0012.15 Валидация аналитических методик / *Общая фармакопейная статья*. 2015. 13 с.
4. Валидация аналитических методик для производителей лекарств: Типовое руководство предприятия по производству лекарственных средств / пер. с англ. *Ж.И. Аладышевой, О.Р. Спицким*; под ред. *В.В. Береговых*. М.: Литера, 2008. 132 с.
5. МИ 2336-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 58 с.

УДК 547.717

ТЕРМОЛИЗ N-ФТАЛИМИДОАЗИРИДИНОВ, СОДЕРЖАЩИХ ФРАГМЕНТ 1,2,4-ОКСАДИАЗОЛА

В.В. Комова, В.В. Сиднева, Е.Р. Кофанов

Научный руководитель – **Е.Р. Кофанов**, д-р хим. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается получение N-фталимидаозиридинов, которые являются полезными синтетическими промежуточными продуктами. Исследуется возможность получения N-фталимидопирролидинов на основе N-фталимидаозиридинов, содержащих 1,2,4-оксадиазольный фрагмент, реакцией 1,3-диполярного циклоприсоединения к диполярофилам.

Ключевые слова: N-фталимидаозиридины, 1,3-диполярное циклоприсоединение, биологическая активность, 3,5-дизамещенные 1,2,4-оксадиазолы, окислительное фталимидаозиридинирование

THE THERMOLYSIS OF N-PHTHALIMIDOAZIRIDINES CONTAINING 1,2,4-OXADIAZOLE MOIETY

V.V. Komova, V.V. Sidneva, E.R. Kofanov

Scientific Supervisor – **E.R. Kofanov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

The preparation of N-phthalimidoaziridines as useful synthetic intermediates, is considered. The possibility of obtaining N-phthalimidopyrrolidines on the basis of N-phthalimidoaziridines containing 1,2,4-oxadiazole fragment by the reaction of 1,3-dipolar cycloaddition to dipolarophiles is studied.

Keywords: N-phthalimidoaziridines, 1,3-dipolar cycloaddition, biological activity, 3,5-disubstituted 1,2,4-oxadiazoles, oxidative phthalimidoaziridination

Азиридины являются ценными предшественниками широкого спектра биологически активных соединений, включая соединения, которые обладают анти-ВИЧ, противотуберкулезным, противоопухолевым и антимикробным действием [1]. Соединения, содержащие 1,2,4-оксадиазольный цикл, являются активными компонентами лекарственных средств, применяемых для лечения астмы, ишемии и болезни Пар-

кинсона [2]. Поэтому создание линейно связанных полигетероциклических систем имеет большое значение в фармацевтической химии.

Целью данной работы является получение *N*-фталимидопирролидинов единственным доступным способом получения соединений данной структуры.

N-аминоазиридины содержат азиридиновый и гидразинный фрагменты. Азиридины являются чрезвычайно полезными синтетическими промежуточными продуктами вследствие энергии напряжения трехчленного цикла, которая является движущей силой большого количества превращений, идущих с его раскрытием. Изучение трансформаций этих гетероциклов в последние годы является чрезвычайно активной областью исследований.

Реакции, которые основаны на 1,3-диполярном циклоприсоединении, получили широкое распространение в органической химии благодаря возможности существенного усложнения структуры соединений всего за одну синтетическую стадию. Так, например, в результате 1,3-диполярного циклоприсоединения азометинилидов, которые термически генерируются из азиридинов, к диполярофилам осуществляется переход от азиридинов к азотсодержащим пятичленным гетероциклам.

В ходе данной работы был получен ряд *N*-фталимидоазиридинов (3), содержащих фрагмент 1,2,4-оксадиазола [3]. В качестве исходных соединений использовали предварительно синтезированные 5-алкенил-1,2,4-оксадиазолы. Реакцию проводили при температуре минус 10 °С, окисляя *N*-аминофталимид (2) тетраацетатом свинца в присутствии 5-алкенил-1,2,4-оксадиазолов (1) (схема 1). Полученные продукты очищали пересадением.

Схема 1. Синтез *N*-фталимидоазиридинов, содержащих фрагмент 1,2,4-оксадиазола

На основе полученных *N*-фталимидоазиридинов (3) провели реакцию термоллиза в присутствии *N*-фенилмалеимида (4) в среде толуола при температуре кипения смеси (схема 2). Состав реакционной смеси контролировался методом ТСХ. Остаток разделяли с помощью флеш-хроматографии на силикагеле.

**Схема 2. Синтез *N*-фталимидопирролидинов,
содержащих фрагмент 1,2,4-оксадиазола**

Строение и чистота синтезированных соединений подтверждены методами ИК- и ЯМР-спектроскопии. В дальнейшем планируется провести испытания синтезированных *N*-фталимидопирролидинов для подтверждения наличия у них биологической активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hameed A.* Recent Advances in the Synthesis of Aziridines / A. Hameed, W. Maqsood, T. Farooq // *Synthetic Approaches to Nonaromatic Nitrogen Heterocycles.* 2020. P. 21–36.
2. Formation and Cyclization of *N*'-(Bezoyloxy)benzene-carboximidamides / P.A. Tsulin, V.V. Sosnina, G.G. Krasovskaya, A.S. Danilova, S.V. Baikov, E.R. Kofanov // *Russian Journal of Organic Chemistry.* 2011. Vol. 47, no. 12. P. 1874–1877.
3. *Kuznetsov M.A.* Oxidative aminoaziridination: past, present and future / M.A. Kuznetsov, L.M. Kuznetsova, A.S. Pankova // *Tetrahedron Letters.* 2016. Vol. 57. P. 3575–3585.

**СИНТЕЗ 3-[(4-МЕТИЛФЕНИЛ)ДИАЗЕНИЛ]-4-
(ПИРРОЛИДИН-1-ИЛ)ПЕНТ-3-ЕН-2-ОНА**

Д.А. Огородников, И.Д. Карпов, К.Л. Овчинников

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

Ярославский государственный технический университет

Исследована реакция азосочетания 4-(пирролидин-1-ил)пент-3-ен-2-она с хлоридом пара-толилдиазония. Получен новый азокраситель - 3-[(4-метилфенил)дiazенил]-4-(пирролидин-1-ил)пент-3-ен-2-он, который потенциально может служить прекурсором для получения 2H-тиопиранов.

***Ключевые слова:** енаминокетоны, пара-толуидин, реакция азосочетания, азокрасители*

**SYNTHESIS OF 3-[(4-METHYLPHENYL)DIAZENYL]-4-
(PYRROLIDIN-1-YL)PENT-3-EN-2-ONE**

D.A. Ogorodnikov, I.D. Karpov, K.L. Ovchinnikov

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

Yaroslavl State Technical University

We investigated the azo coupling reaction of 4-(pyrrolidin-1-yl)pent-3-en-2-one with para-tolyldiazonium chloride. We have obtained a new azo dye – 3-[(4-methylphenyl)diazanyl]-4-(pyrrolidin-1-yl)pent-3-en-2-one, which can potentially serve as a precursor for the preparation of 2H-thiopyrans.

***Keywords:** enamino ketones, para-toluidine, azo coupling reaction, azo dyes*

Азосоединения широко используются в хозяйственной деятельности. Помимо окрашивающих свойств многие представители данного класса веществ обладают также биологической активностью, в частности, акорицидными, антибактериальными и противогрибковыми свойствами [1]. Азокрасители получают, главным образом, используя последовательно реакции диазотирования и азосочетания [2]. Кроме реакций электрофильного замещения с π -избыточными аренами известны аналогичные

реакции с енаминокетонами [3]. В рамках разработки способа синтеза 2*H*-тиопиранов на основе енаминов [4, 5] актуальной задачей является апробация метода на различных объектах. Хлорид *para*-толилдиазония **1** был успешно введен нами в реакцию с 4-(пирролидин-1-ил)пент-3-ен-2-оном **2** (схема 1).

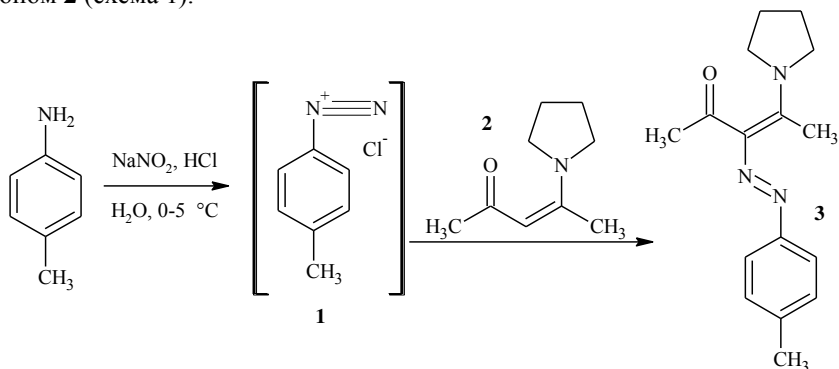


Схема 1

Реакции диазотирования и азосочетания проводились при температуре 0-5 °С. Выделение продукта осуществлялось фильтрованием. В результате нами был синтезирован не описанный ранее 3-[(4-метилфенил)диазенил]-4-(пирролидин-1-ил)пент-3-ен-2-он **3**.

Полученный азоенимин **3** может быть введён в реакцию тионирования реагентом Лавессона **4** и является потенциальным исходным соединением для синтеза азотиопиранов **5** (схема 2).

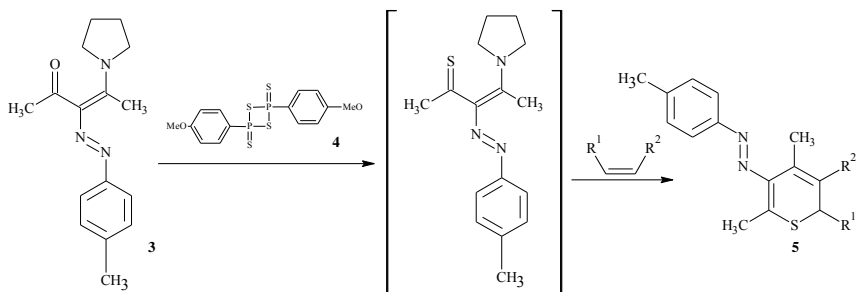


Схема 2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кузнецов Д.Н.* Биологически активные синтетические органические красители / Д.Н. Кузнецов, К.И. Кобраков, А.Г. Ручкина, Г.С. Станкевич // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2017. Т. 60, вып. 1. С. 4–33.
2. *Лисицын В.Н.* Азокрасители // Химия и технология промежуточных продуктов. М.: Химия, 1987. 367 с. Глава 11.
3. Реакция азосочетания енаминоамидов ряда 3,3-диметил-1,2,3,4-тетрагидроизохинолина с солями арилдиазония / А.Г. Михайловский, Е.С. Погорелова, Н.Н. Першина, Е.Н. Люста, М.В. Дмитриев // Журнал органической химии. 2019. Т. 55, № 9. С. 1519–1526.
4. *Овчинников К.Л.* Получение 2*H*-тиопиранов из 3- (N-пирролидинил)проп-2-ен-1-онов / И.Д. Карпов, М.В. Старостин, К.Л. Овчинников // Семьдесят пятая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с междунар. участием. 20-21 апреля 2022 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 1. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. С. 24-26. 1 CD-ROM.
5. *Овчинников К.Л.* One-pot synthesis of 2*H*-thiopyrans from enamins-3-ones by the Diels-Alder reaction / K.L. Ovchinnikov, I.D. Karpov, M.V. Starostin // VI Северо-Кавказский симп. по орган. химии (Ставрополь, 18-22 апреля 2022 г.): сб. материалов. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2022. С. 198.

УДК 547.818.1

СИНТЕЗ 7-БРОМ-1-МЕТИЛ-3-ОКСО-8-ФЕНИЛ-2-ОКСА-6-ТИАБИЦИКЛО[2.2.2]ОКТАН-5-КАРБОКСАМИДА

А.П. Паничева, М.В. Старостин, А.В. Колобов

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

Ярославский государственный технический университет

Взаимодействие 2-карбамоил-6-метил-4-фенил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-3-карбоновой кислоты с бромом

Ключевые слова: 2-карбамоил-6-метил-4-фенил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-3-карбоновая кислота, ангидрид 4-фенил-6-метил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-2,3-дикарбоновой кислоты, галогенлактонизация, дигидротиопираны

SYNTHESIS OF 7-BROMO-1-METHYL-3-OXO-8-PHENYL-2-OXA-6-THIABICYCLO[2.2.2]OCTANE-5-CARBOXAMIDE

A.P. Panicheva, M.V. Starostin, A.V. Kolobov

Scientific Supervisor - **A.V. Kolobov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

Reaction of 2-carbamoyl-6-methyl-4-phenyl-3,4-dihydro-2H-thiopyran-3-carboxylic acid with bromine

Keywords: 2-carbamoyl-6-methyl-4-phenyl-3,4-dihydro-2H-thiopyran-3-carboxylic acid, 4 phenyl 6 methyl anhydride 3,4 dihydro 2H thiopyran of 2,3-dicarboxylic acid, halo- lactonization, dihydrothiopyrans.

Несомненно, соединения класса 2H-тиопиранов представляют интерес с точки зрения их потенциальной биологической активности. В то же время их гидрированные производные - тетрагидротиопираны уже зарекомендовали себя в качестве биологически активных соединений [1]. Поэтому разработка способа получения производных тетрагидротиопирана из дигидротиопиранов, представляет интерес.

В основе работы лежит разработанный нами одnoreакторный способ получения дигидротиопиранов, заключающийся в одnoreакторном

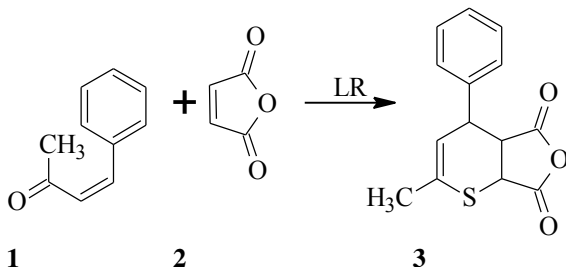
взаимодействии непредельных кетонов, тионирующего агента и подходящего диенофила [2].

Переход к тетрагидротиопиранамвозможен, в том числе и на основе электрофильногоприсоединения по двойной связи. Процесс может протекать как с присоединением к кратной связи, так и с сохранением двойной связи в структуре образующегося соединения.

Имеются примеры бромированияпроизводных 3,4-дигидро-2*H*-тиопирана приводящих к образованию бромзамещенных 3,4-дигидро-2*H*-тиопиранов, а в некоторых случаях и самих тиопиранов [3]. Известны реакции циклогексендикарбоновых кислот с галогенами и аналогичными им реагентами, приводящие к продуктам галогенлактонизации [4, 5].

Целью данной работы было исследование возможности получение 2-карбамоил-6-метил-4-фенил-3,4-дигидро-2*H*-тиопиран-3-карбоновой кислоты и продукта её галогенлактонизации.

Ангидрид 4-фенил-6-метил-3,4-дигидро-2*H*-тиопиран-2,3-дикарбоновой кислоты **3** былполучен одностадийной реакцией Дильса – Альдерабензальацетона **1** с малеиновым ангидридом **2** согласно методике [6].



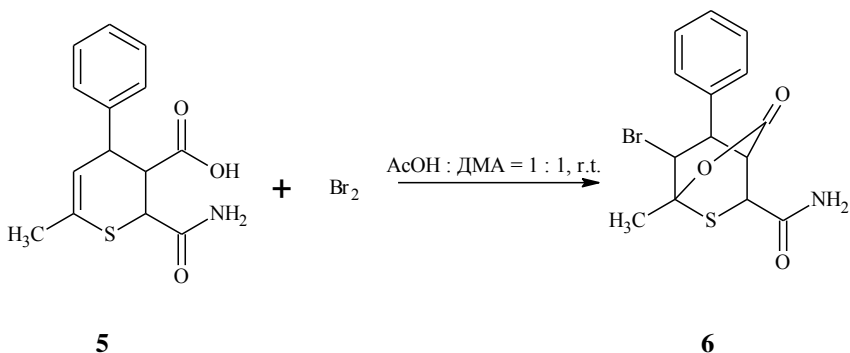
2-Карбамоил-6-метил-4-фенил-3,4-дигидро-2*H*-тиопиран-3-карбонвая кислота **4** была получена нами впервые по методике, разработанной для получения аналогичных продуктов на основе ароматических аминов.Чтобы предотвратить образование аммонийной соли получающейся карбоновой кислоты **5**, реакциюнную массу подкисляли уксусной кислотой сразу после добавления аммиака к раствору ангидрида в дихлорметане.

Как и в случае ароматических аминов, реакция протекает с высоким выходом, давая один из возможных изомеров **5**.

4

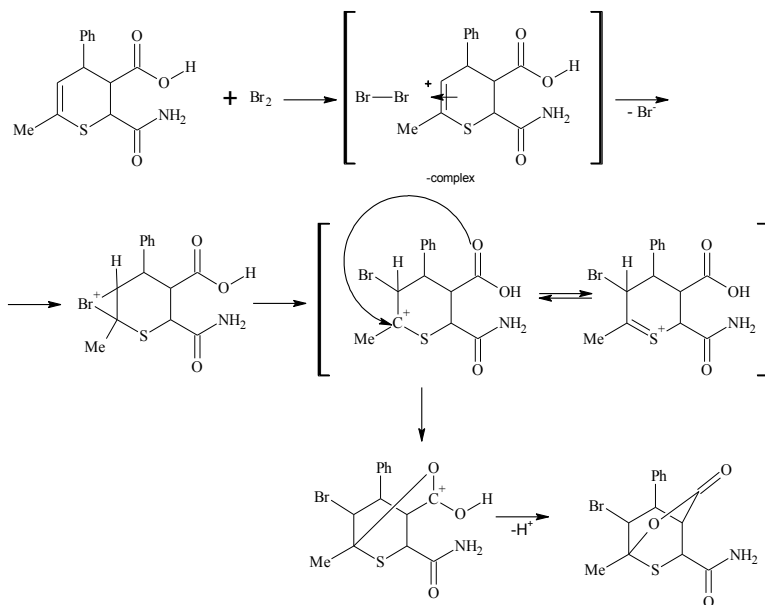
5

Бромирование амида **5**, протекает уже при комнатной температуре с образованием бромлактона **6**. Реакцию проводили в смеси уксусной кислоты и ДМА в соотношении 50:50.



Мы предполагаем, что механизм реакции бромлактонизации 2-карбамоил-6-метил-4-фенил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-3-карбоновой кислоты включает в себя образование π -комплекса, который может перегруппировываться в сравнительно стабильные катионы: бромоний-ионы, карбокатионы или тиопиранилий-катионы.

Далее карбокатион подвергается атаке атомом кислорода в карбоксильной группе с замыканием циклолактона и последующим депротонированием [6].



Строение и чистота полученных соединений подтверждается совокупностью физико-химических анализов: ИК-, ^1H ЯМР-спектроскопией.

Таким образом, нами разработан удобный метод синтеза 7-бром-1-метил-3-оксо-8-фенил-2-окса-6-тиабicyclo[2.2.2]октан-5-карбоксамид, представляющего интерес для поиска биологически активных соединений.

Экспериментальная часть

2-Карбамоил-6-метил-4-фенил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-3-карбоновая кислота

К раствору (4,658 ммоль) ангидрида 4-фенил-6-метил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-2,3-дикарбоновой кислоты **2** в дихлорметане добавляют (4,658 ммоль) водного раствора аммиака. Раствор подкисляется (5 ммоль) уксусной кислотой. Выпавший осадок отфильтровывают.

Выход 1,1 г (70%). $T_{\text{пл}}$ 186-188 °С.

ИК (см^{-1}): NH_2 (3458), CH_3 вал (2978,2907,2835), $\text{C}=\text{O}$ амид (1732), $\text{C}=\text{O}$ кисл (1664), $\text{C}=\text{C}$ (1645), *arC-C* (1614,1495), $\text{C}=\text{O}$ Н (1171), монозамещ (769; 699).

^1H NMR (60 МГц, $\text{DMSO}-d_6$) δ 7.44 – 6.99 (m, 5H), 5.66–5.43 (m, 1H), 4.41 (d, $J = 2.9$ Hz, 1H), 3.62 – 3.32 (m, 1H), 2.45 (p, $J = 1.8$ Hz, 1H), 1.84 (dd, $J = 2.3, 1.4$ Hz, 3H).

7-бром-1-метил-3-оксо-8-фенил-2-окса-6-тиабицикло[2.2.2]октан-5-карбоксамид

Реакцию проводили в смеси уксусной кислоты и ДМА в соотношении 50:50. Раствор (0,361 ммоль) брома приливают по каплям при комнатной температуре и перемешивании к раствору (0,361 ммоль) амида 2-карбамоил-6-метил-4-фенил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-3-карбоновой кислоты. Смесь выливают в холодную воду. Выпавший осадок отфильтровывают и промывают уксусной кислотой.

Выход 0,025г (19%) $T_{пл}$ 190-192 °С.

ИКС (cm^{-1}): C=O лактон (1763,01), C=Oамид (1682,82), $arC-C$ (1602, 1585), δCH_2 (1442,76), δCH_3 (1367), C-O-C (1226,09), монозамещ (756,7; 695,82).

1H NMR (60 MHz, DMSO- d_6) δ 7.26 (d, J = 7.3 Hz, 5H), 4.87 – 4.62 (m, 1H), 4.41 (dt, J = 3.9, 2.0 Hz, 1H), 3.66 (dt, J = 7.0, 2.7 Hz, 1H), 3.04 (dt, J = 3.4, 1.8 Hz, 1H), 1.76 (s, 3H).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hepworth J.D.* Comprehensive Heterocyclic Chemistry III / J.D. Hepworth, V.M. Heron. D. StC. Black, 2008. p. 920.
2. *Karakasa T.* Chemistry of α,β -Unsaturated Thione Dimers. 2. Reactions of Thiochalcones and 2-Arylidene-1-thiotetralones with Some Olefins and the Parent Ketones of the Thiones / T. Karakasa, S. Motoki // J.Org.Chem. 1970. Vol. 44, № 23. P. 4151-4155.
3. Бромирование производных 3,4-дигидро-2H-тиопирана // Е.А. Меркулова, А.В. Колобов, К.Л. Овчинников, О.А. Беляева, В.В. Плахтинский, В.Г. Ненайденко // Химия гетероцикл. соединений. 2021. Вып. 57(7/8). С. 937-840.
4. Квантовохимическое изучение реакции образования γ -лактонов из непредельных циклических дикарбоновых кислот / П.В. Борисов, К.Л. Овчинников, С.Т. Панфилов, А.В. Колобов, А.Л. Хохлев, Е.Р. Кофанов // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2004. Т. 47, вып. 6. С. 33-35.
5. Синтез 2-(4-нитрофенилсульфенил)-5-оксо-4-оксатрицикло[4.2.1.0^{3,7}]нонан-9-карбоновой кислоты / С.Т. Панфилов, А.В. Колобов // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2007. Т. 50, вып. 1. С. 15-17.
6. Ацилирование аминов ангидридом 4-фенил-6-метил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-2,3-дикарбоновой кислоты / М.В. Старостин, Е.А. Меркулова, А.В. Колобов // Семьдесят пятая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с междунар. участием. 20-21 апреля 2022 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. С. 41-44. 1 CD-ROM. Текст: электронный.

УДК 547.717

СИНТЕЗ *N*-ФТАЛИМИДОАЗИРИДИНОВ, СОДЕРЖАЩИХ ФРАГМЕНТ 1,2,4-ОКСАДИАЗОЛОВ

С.В. Ржавитина, В.В. Сиднева, Г.Г. Красовская

Научный руководитель – **Е.Р. Кофанов**, д-р хим. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

*Рассматривается получение 1,2,4-оксадиазолов, содержащих алкенильный фрагмент. Исследуется возможность получения *N*-фталимидаозиридинов на основе 5-алкенил-1,2,4-оксадиазолов.*

Ключевые слова: 5-алкенил-1,2,4-оксадиазолы, окислительное фталимидаозиридинирование, азиридины, *N*-фталимидаозиридины, *N*-аминоазиридины

SYNTHESIS OF *N*-PHTHALIMIDOAZIRIDINES CONTAINING 1,2,4-OXADIAZOLE MOIETY

S.V. Rzhavitina, V.V. Sidneva, G.G. Krasovskaya

Scientific Supervisor – **E.R. Kofanov**, Doctor of Chemistry, Professor

Yaroslavl State Technical University

*The paper examines synthesis of 1,2,4-oxadiazoles containing alkenyl moiety. The paper studies the possibility of *N*-phthalimidoaziridine synthesis from 5-alkenyl-1,2,4-oxadiazoles.*

Keywords: 5-alkenyl-1,2,4-oxadiazoles, oxidative phthalimidoaziridination, aziridines, *N*-phthalimidoaziridines, *N*-aminoaziridine

Целью данной работы является получение 3,5-дизамещенных 1,2,4-оксадиазолов на основе ароматических амидоксимов и метакриловой кислоты, и использование их для получения *N*-фталимидаозиридинов.

1,2,4-Оксадиазолы проявляют различную биологическую активность, они обладают противовоспалительным, противодиабетическим, противоопухолевым, противопаразитарным и инсектицидным действием.

1,2,4-Оксадиазолы, содержащие алкенильный фрагмент, могут быть использованы для получения других органических соединений, например, таких как *N*-фталимидазиридины и *N*-аминоазиридины.

Азиридины – трехчленные гетероциклические соединения, содержащие два атома углерода и один атом азота. Азиридины проявляют широкий спектр биологической активности. Например, они являются компонентами противоопухолевых препаратов.

N-аминоазиридины содержат в своей структуре азиридиновый и гидразинный фрагмент. Они являются компонентами противоопухолевых, антибактериальных препаратов. Наличие амино-группы дает возможность дальнейшей модификации химической структуры.

В ходе данной работы был получен ряд 1,2,4-оксадиазолов (4). В качестве исходных соединений использовали ароматические амидоксимы (1) и метакриловую кислоту (2). При взаимодействии амидоксимов с метакриловой кислотой, в присутствии триэтиламина и этилхлорформиата, образовывались *O*-ациламидоксимы (3), которые затем подвергали циклизации под действием KOH. Получение 1,2,4-оксадиазолов осуществляли без выделения промежуточных *O*-ациламидоксимов [1]. Реакцию проводили при комнатной температуре, в качестве растворителя использовали *N,N*-диметилацетамид (рис. 1).

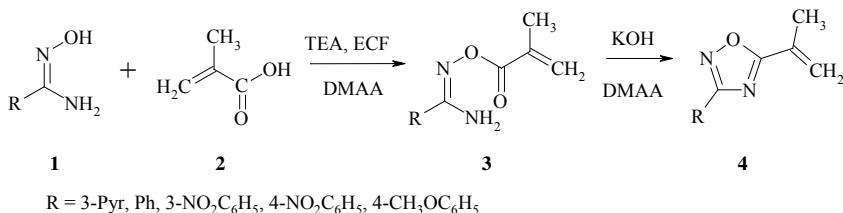


Рис 1. Схема реакция получения 1,2,4-оксадиазолов

Далее осуществили синтез *N*-фталимидазиридинов (6) на основе 1,2,4-оксадиазолов, содержащих алкенильный фрагмент. Реакцию осуществляли при температуре минус 10 °С, окисляя *N*-аминофталимид (5) тетраацетатом свинца в присутствии 5-алкенил-1,2,4-оксадиазола (рис. 2) [2].

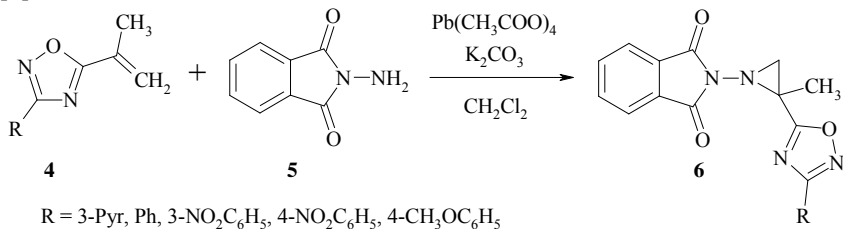


Рис. 2. Схема реакции синтеза *N*-фталимидазиридинов

Основным способом получения *N*-аминоазиридинов является гидролиз соответствующих *N*-фталимидазиридинов [3]. Реакцию проводят в присутствии гидразингидрата при использовании в качестве растворителя этилового спирта при комнатной температуре (рис. 3). Полученные *N*-аминоазиридины (7), могут быть в дальнейшем модифицированы по аминогруппе.

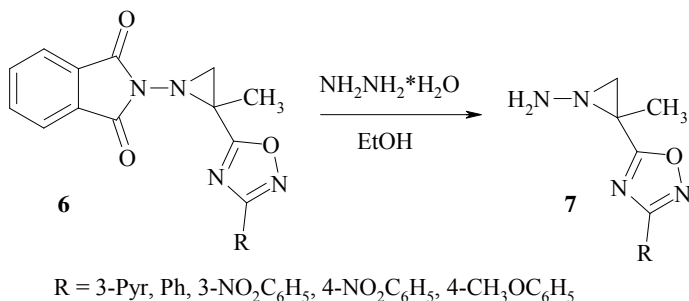


Рис. 3. Схема реакции получения *N*-аминоазиридинов

Строение и чистота полученных соединений подтверждены с помощью физико-химических методов анализа. В дальнейшем планируется проведение исследований биологической активности полученных соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. № 2754735 РФ. Способ получения 3,5-дизамещенных 1,2,4-оксадиазолов, содержащих алкенильный фрагмент / В.В. Сиднева, М.В. Тарасенко, К.В. Ревут, Е.Р. Кофанов: опубл. 06.09.2021, бюл. №25.
2. *Beletskii E.V.* Oxidative addition of *N*-aminophthalimide to styryl-1,2,4-oxadiazoles / *E.V. Beletskii, O.A. Ignatenko, M.A. Kuznetsov, S. Selivanov* // *Rus. J. Org. Chem.* 2010. Vol. 46, № 5. P. 678-684.
3. *Бландов А.Н.* Химия *N*-аминоазиридинов. Часть 1. Методы синтеза // Журнал НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 1 (19).

УДК 547.857.4:543.42

СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОФЕИНА

А.И. Шестакова, О.С. Горячева

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

Ярославский государственный технический университет

Спектральными методами подтверждена подлинность 1,3,7-триметилксантина (кофеина) в имеющихся образцах. Были проведены инфракрасная и ультрафиолетовая спектрометрия, сопоставление результатов исследования с данными, приведёнными в Государственной Фармакопее.

Ключевые слова: кофеин, подлинность, ультрафиолетовая спектрометрия, инфракрасная спектрометрия

SPECTRAL METHODS OF CAFFEINE RESEARCH

A.I. Shestakova, O.S. Goryacheva

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

Yaroslavl State Technical University, Russia, Yaroslavl

Authenticity of 1,3,7-trimethylxanthine (caffeine) in available samples was confirmed by spectral methods. Infrared and ultraviolet spectrometry was carried out, the results of the study were compared with the data given in the State Pharmacopoeia.

Keywords: caffeine, authenticity, ultraviolet spectrometry, infrared spectrometry

В настоящее время существует огромное количество лекарственных препаратов, поэтому вероятность встретить фальсифицированный препарат очень высока. Чтобы этого избежать, необходимо контролировать качество и содержание действующих веществ в выпускаемой продукции. Для подтверждения наличия или отсутствия тех или иных компонентов используют спектральные методы анализа. К таким методам исследования относится инфракрасная и ультрафиолетовая спектрометрия. При получении ИК- и УФ-спектров по полосам поглощения можно определить индивидуальные компоненты. Также определяют и температуру плавления, сравнивают с уже заранее известными значениями. Чаще всего именно эти методы указаны в Государственной Фармакопее.

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

Кофеин, или 1,3,7-триметилксантин – это производное ксантина, относящийся к классу органических соединений – пурины. Кофеин обладает высокой биологической активностью. Кофеин способен повышать работоспособность, снижать усталость, но одновременно с этим может вызывать аритмию, бессонницу. Известно его содержания в продуктах: кофе, листья чая, а также в энергетических напитках и биологических добавках [1].

В статье [1] представлены результаты изучения влияния кофеина на протекание болезни Альцгеймера. Показано, что кофеин препятствует развитию белков, вызывающих деменцию. Опыты проводили на мышах, у которых была снижена выработка защитного фермента, концентрация которого повысилась после введения кофеина.

Авторы статьи [2] изучали, какое воздействие оказывает кофеин на организм крыс. Эксперименты были проведены на двигательную активность крыс –координацию на открытом пространстве и во вращении, кофеин вводили в разных дозировках, в составе смесей. По результатам исследований был сделан вывод, что кофеин обладает слабым тонизирующим действием в составе смесей при концентрации 300 мг/л, а при меньшей – отсутствовал.

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. Результаты полученных ИК-спектров представлены в табл. 1 [3].

Таблица 1. Результаты ИК-спектроскопии

Характерные полосы поглощения	Образец №1	Образец №2	Интервал значений
Валентные колебания C=O	1692,68 см ⁻¹	1692,65 см ⁻¹	1775-1650 см ⁻¹
RNH-CO-NHR – производное мочевины	1644,17 см ⁻¹	1644,30 см ⁻¹	1635-1660 см ⁻¹
Колебания пуринового кольца	1547,44 см ⁻¹	1547,01 см ⁻¹	1580-1520 см ⁻¹
Ассиметричные валентные колебания связей C-H в CH ₃ группе	2955,14 см ⁻¹	2954,64 см ⁻¹	2975-2950 см ⁻¹
Симметричные валентные колебания связей C-H в CH ₃ группе	2886,5 см ⁻¹	2886,5 см ⁻¹	2885-2860 см ⁻¹
Симметричные деформационные колебания связей C-H в CH ₃ группе	1358,35 см ⁻¹	1358,11 см ⁻¹	1395-1365 см ⁻¹

При наложении спектров двух образцов был сделан вывод о полном их совпадении, а также соответствии заявленному спектру-стандарту в Государственной Фармакопее.

УФ-спектры снимали с помощью прибора Specord M-40 (UV-VIS) в области 217,4 до 357,1 нм. Для проведения анализа необходимо было приготовить 0,001%-ный раствор кофеина в 0,1 М хлористоводородной кислоты. При снятии спектра использовались кварцевые кюветы с толщиной 1 см. Результаты УФ-спектрометрии представлены на рис. 1.

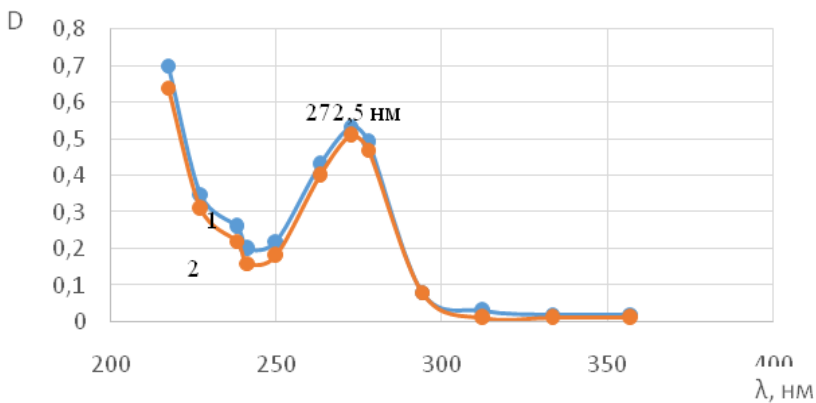


Рис. 1. Зависимость оптической плотности от длины волны:
1 – образец №1; 2 – образец №2

На обоих спектрах был зафиксирован максимум поглощения при 272,5 нм, в фармакопейной статье [4] указано значение 273 нм, несоответствие абсолютному значению входит в диапазон погрешности. Оптическая плотность проб составила 0,535 и 0,510. В Государственной Фармакопее допускается отклонение экспериментальных данных от указанных в статье ± 1 нм при снятии спектра менее 400 нм.

Также помимо спектральных методов анализа определена температура плавления с использованием капиллярного способа. Таким образом, легко можно определить подлинность анализируемого образца. При проведении этого анализа образцы нагревались со скоростью 1°C в минуту после достижения 225°C . Результаты исследования первой пробы – $235,5\text{--}236,0^\circ\text{C}$, второй – $235,4\text{--}237,5^\circ\text{C}$. Полученные значения входят в диапазон $235\text{--}238^\circ\text{C}$, который указан в фармакопейной статье [4].

Анализ проведённых исследований показал, что в обоих образцах содержится кофеин. Полученные данные подтверждают соответствие требованиям фармакопейной статьи [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Латыпова Я.Р.* Применение кофеина для профилактики развития болезни Альцгеймера / Я.Р. Латыпова, Г.К. Байкосова // Приоритет. 2018. С. 16-21.
2. *Стружкова А.А.* Дозозависимое тонизирующее влияние кофеина в составе модельных смесей на крыс в эксперименте / А.А. Стружкова, А.В. Козлов, Е.Д. Минаева, Л.В. Самойлик // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-5. С. 14-19.
3. *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.
4. Кофеин (ФС.2.1.0116.18) // XIV Государственная Фармакопея Российской Федерации. Том III. М., 2018. С. 4158-4162.

УДК 54.062

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЫ

Д.А. Юдина, Ю.С. Груздева, О.С. Горячева

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

Ярославский государственный технический университет

Исследован состав минеральной воды из источника санатория Воровского. Методом титрования определено общая минерализация воды, содержание кальция и магния. Методом пламенной фотометрии определено содержание кальция натрия и магния в объекте исследования.

Ключевые слова: минеральная вода, количественный анализ, титрование пламенная фотометрия.

STUDY OF THE COMPOSITION OF MINERAL WATER

D.A. Yudina, Y.S. Gruzdeva, O.S. Goryacheva

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

Yaroslavl State Technical University

The composition of mineral water from the source of the Vorovsky sanatorium has been studied. general mineralization of water, the content of calcium and magnesium is determined titration method. the content of calcium, sodium and magnesium in the object of study was determined by the method of flame photometry

Keywords: mineral water, quantitative analysis, titration, flame photometry.

Минеральные воды давно используются в санаторной и лечебной практике в качестве биологически активных добавок или дополнения к лекарственным средствам. Существуют данные, показывающие, что применение минеральных вод в санаторной практике приводит к восстановлению после болезней, улучшению самочувствия и жизненных показателей [1]. Также существуют лекарственные препараты, в изготовлении которых применяются воды из различных минеральных источников. Для поддержания лечебного эффекта и отсутствия ухудшения состояния больных, минеральные воды должны соответствовать определённым нормам и требованиям. Эти нормы достигаются правильной очисткой и

соблюдением норм добычи этой питьевой воды. Проверка этих вод также обеспечивает необходимый результат лечения. На качество лечения и профилактики влияют такие показатели, как: кислотность, жёсткость воды, содержание метана, содержание микроорганизмов. Химические показатели можно проверить в аналитической лаборатории с помощью химических и физико-химических методов анализа.

На территории Российской Федерации действуют нормативно-технические документы на минеральную воду. Межгосударственный стандарт ГОСТ 31954-2012 [2] определяет качество питьевой воды и её пригодность для использования. Существует также стандарт, определяющий качество именно минеральной воды ГОСТ 54316-2011 [3]. Стандарты для минеральной воды отличаются, поскольку минеральные воды используются в профилактических и лечебных целях.

В качестве объекта исследования была выбрана минеральная вода источника санатория Воровского. Данный образец используется в профилактических и восстановительных целях для людей, находящихся на лечении и восстановлении органов зрения, дыхательной системы и опорно-двигательного аппарата. Следовательно, вода должна улучшить состояние их организма.

Первым этапом работы была проверка показателей с помощью титриметрического метода анализа. Мы определяли такие показатели как: содержание гидрокарбонатов, общей кислотности и содержание солей магния. Показатели кислотности влияют на иммунитет и кровеносную систему. Содержание солей магния определяет жёсткость воды, что влияет на пищеварительную систему. Иммунитет, кровеносная и пищеварительная система влияют и на органы зрения, и на дыхательную систему, и на опорно-двигательную систему.

Кроме того, методом пламенной фотометрии определено содержание в природной воде кальция, натрия и магния. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования состава минеральной воды

Показатель	Регламентируемое значение	Полученное экспериментально
Общая минерализация, г/л	4,2	4,2
Na ⁺ , мг/л	55	57
Ca ²⁺ , мг/л	25	26
Mg ²⁺ , мг/л	18	18
Cl ⁻ , мг/л	29	32
SO ₄ ²⁻ , мг/л	70	72

Таким образом, химическими и спектральными методами анализа исследован состав минеральной воды из санатория Воровского. Полученные данные показали, что образцы минеральной воды по всем показателям соответствуют данным на информационных листах в вышеуказанном учреждении. Данная вода не используется в качестве питьевой, предназначена для наружного применения. В санатории применяется и отфильтрованная вода из этого же природного источника для внутреннего потребления. Пациенты отмечают положительную динамику от употребления данной воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Использование минеральных вод в некурортной практике / Г.М. Шпейзер, В.А. Хуторянский, А.И. Смирнов, Л.А. Минеева [и др.] // Вестник Бурятского гос. ун-та. 2009. № 3. С. 17-24.
2. ГОСТ 31954-2012. Межгосударственный стандарт. Вода питьевая. Методы определения жесткости. М.: Изд-во стандартов, 2012. 20 с.
3. ГОСТ Р 54316-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2011. 46 с.

**ВЛИЯНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ
АЛЮМООКСИДНОГО КОМПОНЕНТА
НА СКОРОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ
НИКЕЛЬАЛЮМИНАТНОЙ ШПИНЕЛИ**

А.С. Артюшин, Н.В. Филатова, Н.Ф. Косенко

Научные руководители – **Н.В. Филатова**, канд. хим. наук, доцент,
Н.Ф. Косенко, д-р техн. наук, профессор

Ивановский государственный химико-технологический университет

Исследован синтез никельалюминатной шпинели $NiAl_2O_4$, исходя из разных форм оксидов и гидроксидов алюминия (γ - и α - Al_2O_3 , гиббсит, байерита) оксида и гидроксиданикеля. Реакционная способность прекурсоров сопоставлена с помощью эффективных констант скорости, определенных по уравнению Гинстлинга-Броунштейна. Реакционная способность алюмооксидных компонентов убывала в ряду: байерит > гиббсит > γ - Al_2O_3 > α - Al_2O_3 .

Ключевые слова: никельалюминатная шпинель, реакционная способность, γ -глинозем, корунд, гиббсит, байерит, кинетика шпинелеобразования.

**THE EFFECT OF THE ALUMINA COMPONENT
REACTIVITY ON THE RATE OF FORMATION
OF NICKEL-ALUMINATE SPINEL**

A.S. Artyushin, N.V. Filatova, N.F. Kosenko

Scientific Supervisors – **N.V. Filatova**, Candidate of of Chemical Sciences, Associate Professor; **N.F. Kosenko**, Doctor of Technical Sciences, Professor

Ivanovo State University of Chemistry and Technology

The synthesis of nickel-aluminate spinel $NiAl_2O_4$ was investigated, based on different forms of aluminum oxides and hydroxides (γ - and α - Al_2O_3 , gibbsite, bayerite) and nickel oxide and hydroxide. The reactivity of precursors is compared using effective rate constants determined by the Ginstling-Brownstein equation. The reactivity of alumina components decreased in a row: bayerite > gibbsite > γ - Al_2O_3 > α - Al_2O_3 .

Keywords: nickel-aluminate spinel, reactivity, γ -alumina, corundum, gibbsite, bayerite, kinetics of spinel formation

Шпинели широко используются в современной технике и технологии. Никельалюминатная шпинель NiAl_2O_4 предложена как альтернатива широко распространенным никелевым катализаторам, а также в качестве прекурсора никелевых частиц для производства H_2 . Кроме того, отмечены ее фотокаталитические, магнитные, термические свойства. Возможно также изготовление керамических мембран.

В данной работе нами была проанализирована реакционная способность различных источников Al_2O_3 для твердофазного синтеза NiAl_2O_4 .

Использовали реагенты NiO , $\text{Ni}(\text{OH})_2$, Al_2O_3 в виде γ - и α -форм (γ -глинозема и корунда), $\text{Al}(\text{OH})_3$ в виде гиббсита и байерита. Байерит предварительно синтезировали осаждением аммиаком из нитрата алюминия. Смеси для изучения кинетики шпинелеобразования готовили смешением компонентов с последующим прессованием (200 МПа) в присутствии лигносульфоната технического как выгорающей связки. Образцы обжигали при 1000 °С.

Реакционную способность прекурсоров оценивали с помощью эффективных констант скорости, определенных по уравнению Гинстлинга-Броунштейна:

$$1 - \frac{2}{3}\alpha - (1 - \alpha)^{2/3} = k_{\text{ГБ}}\tau, \quad (1)$$

где $k_{\text{ГБ}}$ – эффективная константа скорости, с^{-1} .

Величины степени превращения (содержание NiAl_2O_4) α при различной длительности синтеза τ были определены с помощью количественного рентгенофазового анализа. Уравнение Гинстлинга-Броунштейна описывает одну из диффузионных моделей, учитывающих изменение размеров частиц в ходе реакции. Зависимости в его координатах были линейны с коэффициентами линейной аппроксимации 0,94–0,98. Рассчитанные константы приведены в табл. 1.

Таблица 1. Эффективные константы скорости образования NiAl_2O_4 из различных прекурсоров (1000 °С)

Прекурсоры	Эффективная константа скорости $k_{\text{ГБ}} \cdot 10^5, \text{с}^{-1}$
$\text{NiO} + \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	1,8±0,3
$\text{NiO} + \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ корунд	0,15±0,02
$\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{Al}(\text{OH})_3$ гиббсит	21±4
$\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{Al}(\text{OH})_3$ байерит	25±3

Отчетливо видно, что оксидные прекурсоры взаимодействуют значительно медленнее, чем гидроксиды. В ходе предварительного разложения гидроксидов в веществе накапливались дефекты и напряжения в кристаллической решетке при ее перестройке (эффект Хэдвалла).

Решетка временно становилась нестабильной, что повышало скорость реакции.

Корунд $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ является самой устойчивой, а значит, наименее реакционноспособной формой оксида алюминия. Его кристаллическая решетка – гексагональная плотнейшая упаковка, образованная ионами кислорода, в которой $2/3$ октаэдрических пустот заполнены ионами алюминия. Размер пустоты (0,0565 нм) практически совпадает с ионным радиусом алюминия (0,057 нм), поэтому решетка испытывает очень незначительные искажения, предопределяя высокую стабильность структуры. Строение γ -глинозема близко к структуре шпинели, однако вместо 9 катионов, содержащихся в последней ($\text{A}_3\text{B}_6\text{O}_{12}$, где А и В – соответственно ионы двух- и трехвалентных металлов), в γ -глиноземе имеется только восемь ионов Al^{3+} (Al_8O_{12}). Наличие незаполненных катионных позиций ($1/9$) и неупорядоченность распределения катионных вакансий обуславливают дефектность и более низкую устойчивость по сравнению с корундом [1].

Гиббит и байерит являются полиморфными модификациями гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$, различающимися относительным расположением двойных слоев OH -групп и прочностью H -связей внутри и между слоями. При длительном хранении байерит переходит в гиббит как более стабильную форму [2].

Рентгенофазовый анализ (рис. 1) показал высокую однородную синтезированную шпинели.

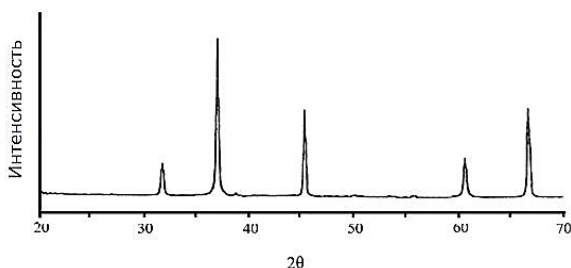


Рис. 1. Дифрактограмма обожженного продукта из смеси $\text{Ni}(\text{OH})_2$ и $\text{Al}(\text{OH})_3$ (все пики соответствуют шпинели NiAl_2O_4)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрелов К.К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К.К. Стрелов, И.Д. Кашеев. М.: Металлургия, 1996. 608 с.
2. Klopogge J.T. XPS study of the major minerals in bauxite: gibbsite, bayerite and (pseudo-)boehmite / J.T.Klopogge, L.V.Duong, B.J.Wood, R.L. Frost / J Colloid Interface Sci. 2006. V. 296, no. 2. P. 572-576. DOI: 10.1016/j.jcis.2005.

УДК 547.562.1:661.727.9

СИНТЕЗ ГИДРОПЕРОКСИДА ВТОР-БУТИЛБЕНЗОЛА И ЕГО КИСЛОТНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ДО ФЕНОЛА И МЕТИЛЭТИЛКЕТОНА

Е.И. Баёв, 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 закономерности процессов окисления втор-бутилбензола до третичного гидропероксида и его последующего кислотного разложения до фенола и метилэтилкетона.

Ключевые слова: метилэтилкетон, фенол, гидропероксидный метод, втор-бутилбензол, жидкофазное окисление, кислотное разложение, N-гидроксифталимид

SYNTHESIS OF HYDROPEROXIDE OF BUTYLBUTYLBENZENE AND ITS ACID DECOMPOSITION TO PHENOL AND METHYL ETHYL KETONE

E.I. Bayov, V.S. Kabanova, E.A. Kurganova, A.S. Frolov

Научные руководители – **Е.А. Kurganova**, Doctor of Chemical
Sciences, Professor; **A.S. Frolov**, Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor

Yaroslav State Technical University

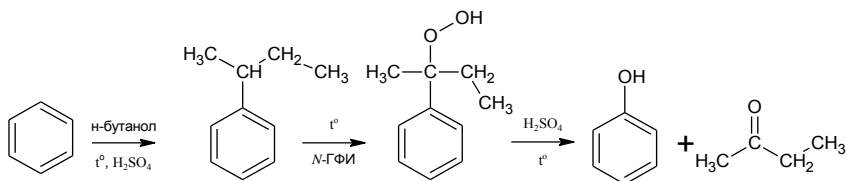
The regularities of the oxidation of second-butylbenzene to tertiary hydroperoxide and its subsequent acid decomposition to phenol and methyl ethyl ketone have been studied.

Keywords: methylethylketone, phenol, hydroperoxide method, second-butylbenzene, liquid-phase oxidation, acid decomposition, N-hydroxyphthalimide

Метилэтилкетон (МЭК) является ценным селективным растворителем на установках депарафинизации, в нефтехимической и в деревообрабатывающей промышленности, применяется для производства различных клеев и лакокрасочных материалов, является промежуточным про-

дуктом в производстве метилэтилкетона пероксида. Мировое производство МЭК составляет 1,2 млн т, а спрос на него постоянно увеличивается в среднем на 7% в год [1].

Существует более десяти химических методов получения МЭК, основанных на каталитическом окислении бутена, дегидрировании или окислении бутанола или *n*-бутана. Распространённый промышленный метод – жидкофазное свободнорадикальное окисление *n*-бутана – имеет выход целевого продукта не более 23%, процесс производства является энергозатратным, длительным, сопровождается образованием побочных продуктов [3]. Именно поэтому актуальной задачей является разработка экономически и технологически эффективного способа получения МЭК. Таким способом может стать аналог кумольного процесса – получения фенола и ацетона – который позволит получать на основе *втор*-бутилбензола два соединения, имеющих большое практическое значение – фенол и МЭК. Данный процесс осуществляется в три стадии: алкилирование бензола бутанолом-1, окисление получившегося *втор*-бутилбензола (ВББ) до гидропероксида (ГП) и кислотное разложение ГП ВББ.



Ключевой стадией разрабатываемого способа является жидкофазное окисление ВББ до третичного гидропероксида. Данная реакция по сравнению с аналогичной реакцией кумольной технологии – окисления изопропилбензола – протекает при большей температуре, что вызывает нежелательное количество побочных продуктов, её скорость примерно в два раза ниже [2]. Изучено влияние технологических параметров на процесс окисления ВББ в присутствии различных фталимидных катализаторов. Установлено, что их применение позволяет получать ГП ВББ с более высоким выходом и селективностью по сравнению с гидропероксидными инициаторами.

Было исследовано влияние на реакцию кислотного разложения ГП ВББ следующих параметров: начальной концентрации ГП ВББ, температуры и содержания катализатора. По полученным данным можно сказать, что данный способ позволяет с достаточной селективностью получать приемлемое количество фенола и метилэтилкетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Microbiological synthesis of methyl ethyl ketone / A. Astashkina, Yu. Kolbysheva, A. Nikiforova, A. Bakibayev // МАТЕС Web of Conferences. 2016. 85, 01022. P. 1
2. *Закошанский В.М.* Альтернативные технологии получения фенола // Ж. Рос. хим. журнал. 2008. Т. 52, № 4. С. 53-71.
3. Пат. № 2574060 РФ. Способ получения метилэтилкетона и бутадиена-1,3: заявл. 08.12.2014; опубл. 10.02.2016. С. 1-4.

СИНТЕЗ ЗАМЕЩЕННЫХ *ОРТО*-ДИКАРБОНИТРИЛОВ НА ОСНОВЕ ЭВГЕНОЛА

**В.В. Бухалин, Е.А. Зюзин, В.А. Фесенко, А.Б. Барков,
В.Л. Баклагин**

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

Ярославский государственный технический университет

Разработан метод синтеза различных орто-дикарбонитрилов на основе эвгенола с помощью реакции ароматического нуклеофильного замещения. Проведена димеризация эвгенола в присутствии феррицианида с последующей циклизацией в 1,4-диоксоциновый гетероцикл.

Ключевые слова: 4,5-дихлорфталонитрил, эвгенол, 1,4-диоксоцин, фталоцианины, феррицианид

SYNTHESIS OF SUBSTITUTED *ORTHO*-DICARBONITRILES BASED ON EUGENOL

**V.V. Bukhalin, E.A. Zyuzin, V.A. Fesenko, A.B. Barkov,
V.L. Baklagin**

Scientific Supervisor – **V.L. Baklagin**, Graduate

Yaroslavl State Technical University

A method for the synthesis of various ortho-dicarbonitriles based on eugenol using aromatic nucleophilic substitution reaction was developed. Eugenol was dimerized in the presence of ferricyanide followed by cyclization to 1,4-dioxocine heterocycle.

Keywords: 4,5-dichlorophthalonitrile, eugenol, 1,4-dioxocine, phthalocyanines, ferricyanide

Орто-дикарбонитрилы, содержащие различные по своей природе заместители, являются группой органических соединений, характеризующейся большой практической ценностью в различных областях промышленности и науки. Подобные соединения нашли широкое применение в синтезе фталоцианинов, содержащих различные заместители на периферии ароматического макрогетероцикла. Исходные

орто-дихлорнитрилы, необходимые для циклотетрамеризации, получают реакцией ароматического нуклеофильного замещения в результате взаимодействия простейших фталонитрилов с желаемыми нуклеофилами [1]. В роли нитрила в нашем случае выступает 4,5-дихлорфталонитрил (далее – 4,5-ДХФН) **2**, а в роли нуклеофилов – эвгенол **1** и его димер **3**.

Фталоцианины используются в разных отраслях промышленности, науки и медицины. Наиболее важными на данный момент являются исследования в разработке фотосенсибилизаторов для фотодинамической терапии онкологических заболеваний (далее – ФДТ) [2]. Одним из значимых критериев для перспективности использования фталоцианинов в качестве фотосенсибилизаторов является их растворимость в различных органических растворителях. Малая растворимость фталоцианинов и их металлокомплексов может приводить к сложностям в их применении, поэтому одной из целей исследований в данной области является повышение их растворимости, которая может быть достигнута путем введения заместителей на периферии макрокольца. Известно, что эвгенольный фрагмент повышает растворимость фталоцианинов [1, 3].

Данная работа направлена на синтез новых производных фталонитрила, которые в дальнейшем могут стать исходными соединениями для синтеза фталоцианинов, обладающих повышенной растворимостью в органических растворителях, что обусловит их потенциальное использование для ФДТ.

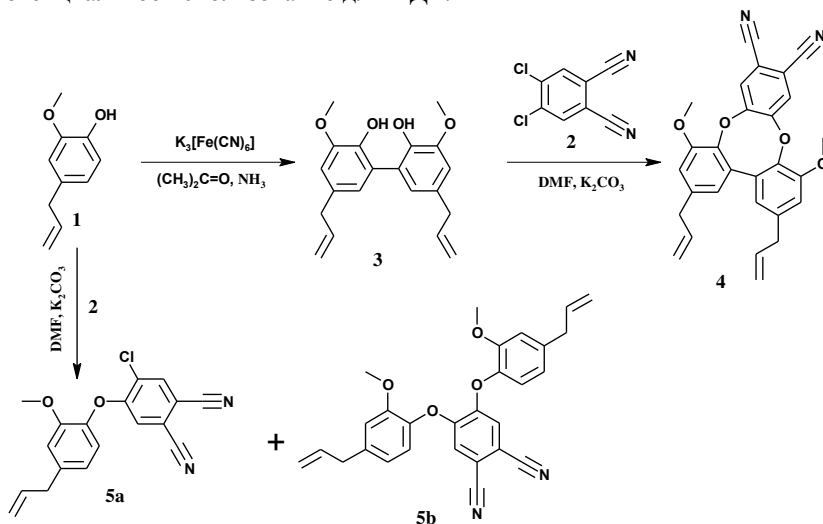


Схема 1

В качестве исходных реагентов были выбраны эвгенол **1** и 4,5-ДХФН **2**. Выбор исходных соединений продиктован их коммерческой доступностью, а также возможностью нуклеофильного замещения как одного, так и двух атомов хлора, что открывает более широкие возможности для органического синтеза.

Диэвгенол **3** был получен из эвгенола **1** реакцией окислительного сочетания с использованием одноэлектронного окислителя – гексацианоферрата (III) калия (далее – феррицианид) в щелочной среде ацетон-водного раствора аммиака по известной методике [4]. После чего реакцией ароматического нуклеофильного замещения с 4,5-ДХФН **2** был получен соответствующий трибензо-1,4-диоксоцин в среде безводного диметилформамида.

В результате замещения атома хлора в молекуле 4,5-ДХФН **2** на эвгенол **1** была получена смесь продуктов **5a** и **5b** с преобладанием первого, что позволило разделить исходную смесь простейшей перекристаллизацией этанола. Таким образом, реакция между эвгенолом **1** и 4,5-ДХФН **2** протекает нехемоселективно, в то время как реакция между диэвгенолом **3** и 4,5-ДХФН **2** протекает с образованием одного термодинамически стабильного 1,4-диоксоцина **4**. Следует отметить, что целевые продукты **4** и **5a** не были описаны в литературных источниках в отличие от продукта дизамещения **5b** [1].

Строение диэвгенола **3**, а также полученных *орто*-дикарбонитрилов **4** и **5a** установлено на основании совокупности данных ИК- и ЯМР-спектроскопий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Şaşmaz S. (). Synthesis and characterization of phthalocyanines containing 4-allyl-2-methoxyphenyl moieties / S. Şaşmaz, E. Açar, A. Açar // Dyes and Pigments. 1999. 42(2). P. 117–122. DOI:10.1016/s0143-7208(99)00020-0
2. Nucleophilic Substitution in 4-Bromo-5-nitrophthalodinitrile: XV.1 Synthesis of Bis-4,5-(phenylsulfanyl)phthalonitrile, Octakis-4,5-(phenylsulfanyl)phthalocyanines and Their Sulfo and Alkylsulfamoyl Derivatives / S.A. Znoiko, E.S. Golovashova, O.V. Potekhina, D.B. Berezin, M.A. Serova, V.E. Maizlish, G.P. Shaposhnikov // Rus. J. Gen. Chem. 2017. Vol. 87(7). P. 1562-1571
3. Ayse Aktas Kamiloglu, Sahin Direkel, Halise Yalazan, Halit Kantekin, Irfan Acar Octa- and tetra-substituted phthalocyanines with methoxyeugenol group: synthesis, characterization and in vitro antimicrobial activity // J. Coord. Chem. 2020. Vol. 73(7). P. 1177-1190.
4. Fully renewable thermosets based on bis-eugenol prepared by thiol-click chemistry / Dailyn Guzmán, Angels Serra, Xavier Ramis, Xavier Fernández-Francos, Silvia De la Flor // React. Funct. Polym. 2019. Vol. 136. P. 153-166.

КЕРАМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРОМОТИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗОКСИДНОГО КАТАЛИЗАТОРА

А.Н. Дворецкая, Т.Н. Судзиловская

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

Ярославский государственный технический университет

Представлены данные по пористой структуре легированных и нелегированных катализаторов, полученных термообработкой на воздухе. Оценена термостабильность и механическая прочность керамической структуры легированных нелегированных катализаторов.

Ключевые слова: керамическая структура, легирующие добавки циркония, железоксидный катализатор

CERAMIC STRUCTURE OF A PROMOTED IRON OXIDE CATALYST

A.N. Dvoretzkaya, T.N. Sudzilovskaya

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

Yaroslavl State Technical University

Data on the porous structure of doped and undoped catalysts obtained by heat treatment in air are presented. The thermal stability and mechanical strength of the ceramic structure of doped undoped catalysts have been evaluated.

Keywords: ceramic structure, zirconium additives, iron oxide catalyst

Дегидрирование олефиновых и алкилароматических углеводородов - многотоннажные процессы, осуществляющиеся с применением железоксидных катализаторов. Минимальный набор параметров, определяющих эффективность действия катализатора, кроме каталитических характеристик, всегда включает величину доступной поверхности пор, термическую стабильность пористой структуры контакта и механическую прочность гранул катализатора.

На сегодняшний день вопрос о влиянии промотирования и легирования на параметры пористой структуры, и как следствие, термостабильность и механическую прочность, остается открытым.

Цель работы: выяснение механизма влияния промоторов на керамическую структуру катализатора.

Пористая структура катализатора формируется при прокаливании исходных соединений на воздухе [1]. На характеристики пористой структуры катализаторов оказывают влияние различные факторы: химическая и термическая предыстория исходного оксида железа [2], температура синтеза катализатора, скорость удаления газообразных продуктов из зоны реакции и многие другие. Для эксперимента выбраны образцы оксида железа, полученного разложением сульфата при температуре 910-920 К, модельный катализатор готовили при температуре 990 К. Исходными компонентами железооксидного катализатора обычно являются оксид железа и карбонат калия. Некоторые ученые в качестве активного компонента катализатора указывают оксид железа [3]. Однако наши данные и результаты, полученные многими другими исследователями [4], говорят о высокой «зауглероживаемости» поверхности такого катализатора и его низкой селективности. При этом введение в систему промотора – щелочного металла, значительно увеличивает активность контакта [4, 5].

В таблице 1 представлены данные пористой структуры образца катализатора, полученного с использованием только оксида железа, образца катализатора, исходными компонентами которого являются оксид железа и карбонат калия (промотированного калием), и образца катализатора исходными компонентами которого являются оксид железа и карбонат калия, легированного цирконием (промотированного калием, легированного цирконием). На рис. 1 представлено распределение пор по размерам тех же образцов

Как сообщалось ранее, на активность железооксидного катализатора негативное влияние оказывают поры размером менее 70 нм. Диаметр эффективных пор такого катализатора ограничен пределами от 70 до 150 нм.

Анализ данных позволяет сделать вывод, что легирующая добавка циркония незначительно влияет на формирование пористой структуры контакта. Вместе с тем использование промотирующего агента приводит к значительному снижению доли пор малого размера и увеличению доли эффективных пор. Если калиевый промотор вводится в виде карбоната, то при термообработке катализатора идет твердофазное взаимодействие K_2CO_3 с гематитом, сопровождающееся выделением углекислого газа, который разрыхляет структуру гранул.

Таблица 1. Пористая структура образцов модельного катализатора

R, нм	Катализатор Fe ₂ O ₃			Катализатор, промотированный калием			Катализатор, промотированный калием, легированный цирконием		
	S, м ² /г	V10 ² , см ³ /г	V, %	S, м ² /г	V10 ² , см ³ /г	V, %	S, м ² /г	V10 ² , см ³ /г	V, %
>30	1,08	9,86	19,84	0,25	3,05	7,42	0,2	2,88	6,98
30-70	2,43	16,08	32,35	0,83	4,14	10,07	0,7	4,14	10,04
70-100	0,13	2,33	4,688	0,71	5,6	13,62	0,74	5,67	13,75
100-150	0,205	6,52	13,12	0,32	8,87	21,57	0,32	8,76	21,24
150-200	0,11	3,38	6,801	0,11	4,99	12,14	0,16	5,13	12,44
>200	0,104	11,53	23,2	0,08	14,99	36,45	0,28	14,85	36,01
Сумма	4,059	49,7	100	2,3	41,12	100,00	2,4	41,24	100,00

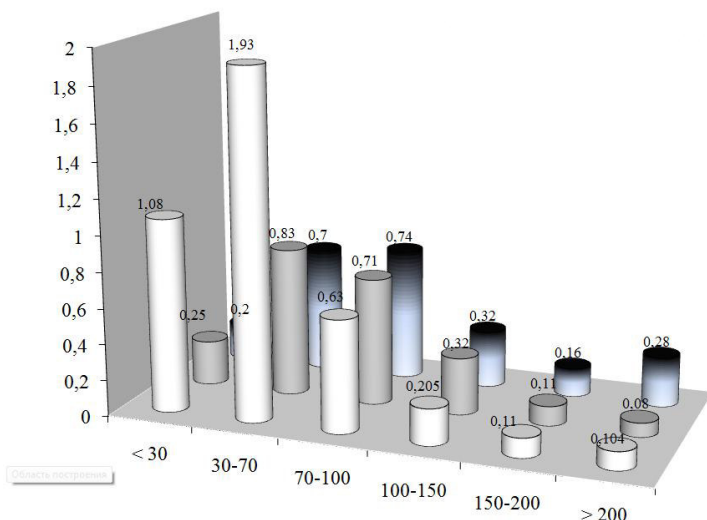


Рис. 1. Распределение пор по размерам (м²/г) образцов модельного катализатора:

- – катализатор Fe₂O₃, ■ - катализатор, промотированный калием,
- - катализатор, промотированный калием, легированный цирконием

Для оценки термоустойчивости катализатора обычно используется длительная экспозиция в условиях реакции дегидрирования с замером параметров пористой структуры через определенные интервалы времени. Однако не менее точную картину можно получить, исследуя катализатор после термической выдержки при температурах, значительно превышающих температуры эксплуатации.

Образец оксида железа, как и следовало ожидать, более термостабилен. Удельная поверхность такого образца остаётся термически устойчивой до температуры 970 К. Промотированные образцы обладают гораздо меньшей термоустойчивостью. Однако легирование цирконием термоустойчивость повышает.

Свежеприготовленный катализатор подвергается транспортировке и перегрузке, он испытывает значительные механические нагрузки, так как высота слоя катализатора в реакторе может достигать нескольких десятков метров. Все это выдвигает высокие требования к механической прочности гранул контакта.

Непромотированный калием модельный катализатор обладает явно недостаточной механической прочностью. Введение промотирующего агента приводит к созданию механически устойчивой структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дворецкий Н.В.* Генезис промотированных железоксидных катализаторов дегидрирования: Монография / Н.В. Дворецкий, Л.Г. Аниканова. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2007. 112 с.
2. *Дворецкий Н.В.* Глобулярная структура оксида железа // Н.В. Дворецкий, Л.Г. Аниканова // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2002. Т. 45, вып. 2. С. 149-151.
3. *Weiss W.* On the nature of the active site for the ethylbenzene dehydrogenation over iron oxide catalysts / W. Weiss, D. Zscherpel, R. Schlogl // *Catalysis Letters*. 1998. Vol. 52, № 3-4. P. 215–220.
4. *Дворецкий Н.В.* Типы активных центров на поверхности промотированного железоксидного катализатора / Н.В. Дворецкий, Л.Г. Аниканова, З.Г. Малышева // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2018. Т. 61, № 6. С. 61-68.
5. *Meima G.R.* Catalyst deactivation phenomena in styrene production / G.R. Meima, P.G. Menon // *Applied Catalysis A: General*. 2001. Vol. 212. P. 239-245.

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ И ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ

И.И. Зонина, М.С. Малоиван, Н.В. Филатова

Научный руководитель – **Н.В. Филатова**, канд. хим. наук, доцент

Ивановский государственный химико-технологический университет

Рассмотрены условия формирования композиционного материала с использованием ортофосфорной кислоты и различных заполнителей (порошков плавящего корунда и реактивного глинозема). Сопоставлены дифрактограммы заполнителей и морфология их кристаллов. На основании определения водопоглощения и прочности образцов показано, что только на основе плавящего корунда возможно получение плотного и прочного композита.

Ключевые слова: оксид алюминия, плавящийся корунд, реактивный глинозем, ортофосфорная кислота, композиционный материал

COMPOSITE MATERIALS BASED ON ALUMINIUM OXIDE AND ORTHOPHOSPHORIC ACID

I.I. Zonina, M.S. Maloivan, N.V. Filatova

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

Ivanovo State University of Chemistry and Technology

The conditions for the formation of composite material using orthophosphoric acid and various aggregates (powders of fused corundum and reactive alumina) are considered. Diffractograms of aggregates and the morphology of their crystals are compared. Based on the determination of water absorption and strength of samples, it is shown that only fused corundum does obtaining of a dense and durable composite possible.

Keywords: aluminium oxide, fused corundum, reactive alumina, orthophosphoric acid, composite material

Оксид алюминия обладает высокой термической, механической и химической устойчивостью, что является причиной его широкого ис-

пользования в прикладных целях. При получении корундовых изделий важнейшей целью является формирование однородной структуры, обладающей необходимым комплексом свойств. Существует несколько вариантов достижения данной цели. Большое распространение получило формирование изделий с использованием временной связки, придающей необходимую минимальную прочность сырцу для обеспечения последующих технологических операций, заканчивающихся обжигом; в процессе последнего использованная связка выгорает и образуется прочная керамическая структура. Однако в данном способе частицы дисперсного материала, остающиеся инертными, связываются между собой только за счет спекания, требующего для протекания упрочнения высоких температур.

Ортофосфорная кислота (ОФК) является простейшей связкой фосфатного твердения. При смешении с оксидными материалами H_3PO_4 способна в определенных условиях образовывать фосфатные новообразования, формирующие матрицу композита. Обычно технология корундовых изделий включает обжиг изделий при температурах 1650–1750 °С, применение фосфорной кислоты или фосфатных связующих (особенно в сочетании с механохимической обработкой Al_2O_3) позволяет получать материалы с температурой спекания до 1300–1400 °С.

В данной работе использованы порошок плавленого корунда (КП) и реактивный глинозем (РГ).

В отличие от плотных кристаллов КП, РГ характеризуется высокопористой структурой (рис. 1) и развитой удельной поверхностью по БЭТ: $(105 \pm 14) \text{ м}^2/\text{г}$ вместо $(0,5 \pm 0,0) \text{ м}^2/\text{г}$ для КП.

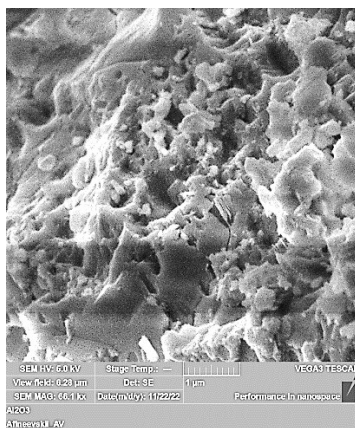


Рис. 1. СЭМ-изображение кристаллов РГ

Рентгенофазовый анализ (рис. 2) показал, что КП представлен фазой $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, тогда как РГ имеет более сложный модификационный состав, включающий в себя и низкотемпературные оксидные формы.

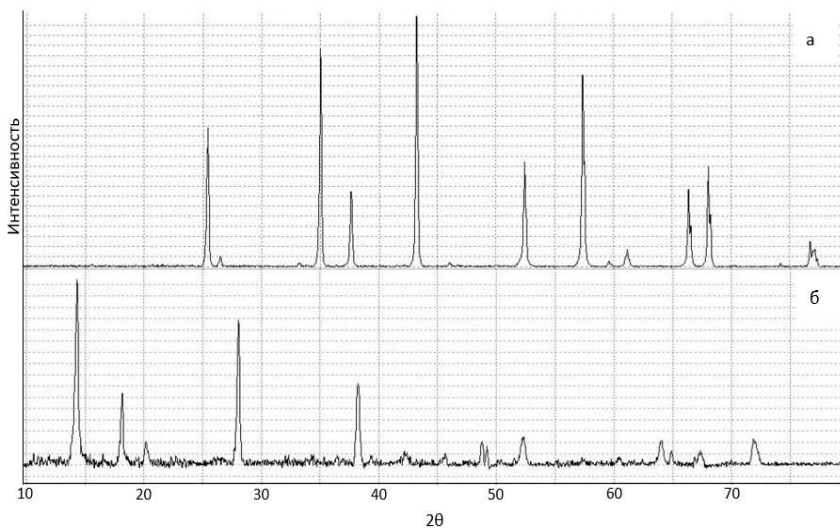


Рис. 2. Дифрактограммы образцов КП (а), глинозема реактивного (б)

Образцы для спекания композиционного материала готовили методом полусухого прессования с использованием ОФКи лигносульфоната технического в качестве временной (выгорающей) связки. Количество ОФК выбрано равным 7% для КП и 25% для РГ, что было обусловлено большим различием в строении кристаллитов оксида алюминия.

Рис. 3 характеризует величины водопоглощения и прочности при сжатии образцов при различных температурах обжига.

Установлено, что на основе плотных кристаллов плавящего корунда и фосфорной кислоты можно получить композиционный материал с прочностью при сжатии и водопоглощением, которые удовлетворяют требованиям, предъявляемым к плотным корундовым огнеупорам. Реактивный глинозем в этих целях не может быть использован вследствие высокой внутренней пористости, требующей введения большого количества связки, а значит, и жидкости, испаряющейся при повышенных температурах. Выделяющийся пар разрывает формирующиеся контакты, препятствуя нарастанию прочности. Кроме того, спекание, являясь диффузионным процессом, весьма затруднено в высокопористых материалах. Таким образом, для получения плотного композита целесообразно использовать в качестве заполнителя порошок плавящего корунда.

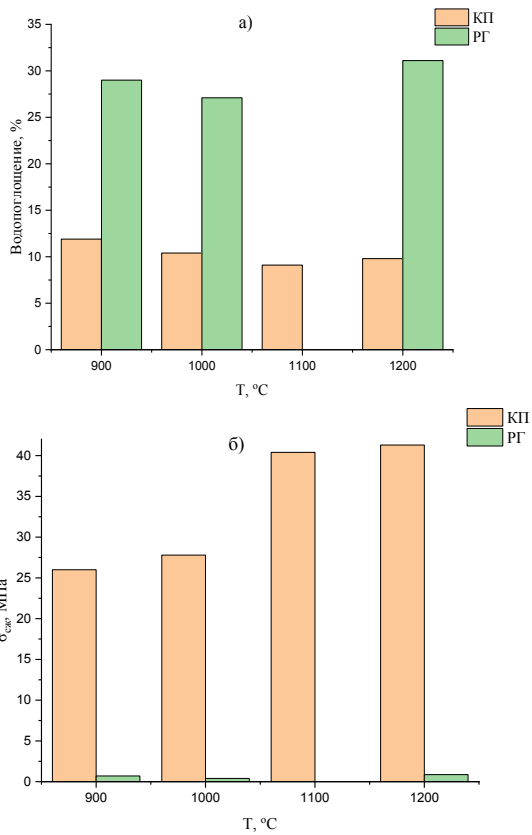


Рис. 3. Водопоглощение (а) и прочность при сжатии (б) образцов на основе КП и РГ при различных температурах обжига

УДК 547.859:547.814.1

СЕЛЕКТИВНОЕ АЛКИЛИРОВАНИЕ ГЕКСАГИДРО-2H-ХРОМЕНО[4,3-D]ПИРИМИДИН-2,5-ДИОНОВ

А.С. Карандеева, А.М. Урядова, Е.С. Макарова, М.В. Кабанова

Научный руководитель – **М.В. Кабанова**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Исследовано селективное алкилирование 4-арил-8-гидрокси-10b-метил-1,2,3,4,4a,10b-гексагидро-2H-хромено[4,3-d]пиримидин-2,5(1H)-дионов под действием различных алкилирующих агентов по OH-группе.

Ключевые слова: селективное алкилирование, 4-арил-8-гидрокси-10b-метил-1,2,3,4,4a,10b-гексагидро-2H-хромено[4,3-d]пиримидин-2,5(1H)-дионы, иодметан, метилбромацетат, бензилхлорид

SELECTIVE ALKYLATION OF HEXAHYDRO-2H-CHROMENO[4,3-D]PYRIMIDINE-2,5-DIONES

A.S. Karandeeva, A.M. Uryadova, E.S. Makarova, M.V. Kabanova

Scientific Supervisor – **M.V. Kabanova**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Selective alkylation of 4-aryl-8-hydroxy-10b-methyl-1,2,3,4,4a,10b-hexahydro-2H-chromeno[4,3-d]pyrimidine-2,5(1H)-diones under the action of various alkylating agents at the OH-groups was investigated.

Keywords: selective alkylation, 4-aryl-8-hydroxy-10b-methyl-1,2,3,4,4a,10b-hexahydro-2H-chromeno[4,3-d]pyrimidine-2,5(1H)-diones, iodomethane, methyl bromoacetate, benzyl chloride

Процесс алкилирования является одним из основных методов модификации полифункциональных соединений в органическом синтезе, потому разработка селективных методов алкилирования гидроксильных групп является важной задачей, особенно в синтезе лекарственных веществ и витаминов. Реакция алкилирования применяется также для временной защиты функциональных групп. Этот метод имеет большое значение в синтезе пептидов, антибиотиков, модификации сахаров [1]. В медицине основу некоторых противоопухолевых средств составляют

метилованные молекулы ДНК, которые способны повреждать раковые клетки и подавлять их рост [2].

Конденсированные гетероциклические системы на основе хроманового и пиримидинового циклов представляют большую практическую значимость, в частности они могут выступать в качестве красителей, фотоактивных веществ, и фармацевтических препаратов широкого спектра действия [3, 4]. Поэтому алкилирование ранее полученных [5] хромопиримидиновых структур может привести к более выраженному проявлению их биологических свойств.

Целью работы является разработка метода селективного алкилирования *ОН*-группы 4-арил-8-гидрокси-10b-метил-1,2,3,4,4a,10b-гексагидро-2*H*-хромено[4,3-*d*]пиримидин-2,5(1*H*)-дионов.

Молекула 4-арил-8-гидрокси-10b-метил-1,2,3,4,4a,10b-гексагидро-2*H*-хромено[4,3-*d*]пиримидин-2,5(1*H*)-дионов кроме гидроксильной группы содержит *NH*-группы, которые также могут подвергаться алкилированию. Исходя из этого, для достижения селективности процесса, реакцию необходимо проводить в мягких условиях. Алкилирование хромено[4,3-*d*]пиримидин-2,5(1*H*)-дионов **1a-d** под действием **2a-c** (CH_3I / $\text{BrCH}_2\text{COOMe}$ / PhCH_2Cl) проводили в растворе ДМФА в присутствии K_2CO_3 при температуре 20-40 °С в течение 2-4 ч. При использовании бензилхлорида нагревали реакционную массу дополнительно в течение 2 ч при 80 °С. В результате получали селективно 8-алкокси-10b-метил-1,2,3,4,4a,10b-гексагидро-2*H*-хромено[4,3-*d*]пиримидин-2,5(1*H*)-дионы **3a-f** с выходами до 77%.

- 1: $\text{R}_1 = \text{C}_6\text{H}_5$ (**a**); $\text{R}_1 = 4\text{-ClC}_6\text{H}_4$ (**b**); $\text{R}_1 = 4\text{-MeOC}_6\text{H}_4$ (**c**); $\text{R}_1 = 3\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4$ (**d**);
2: $\text{R}_2 = \text{CH}_3$, Hal = I (**a**); $\text{R}_2 = \text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{OCH}_3$, Hal = Br (**b**); $\text{R}_2 = \text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5$, Hal = Cl (**c**);
3: $\text{R}_1 = \text{C}_6\text{H}_5$, $\text{R}_2 = \text{CH}_3$ (**a**); $\text{R}_1 = 4\text{-ClC}_6\text{H}_4$, $\text{R}_2 = \text{CH}_3$ (**b**); $\text{R}_1 = 4\text{-MeOC}_6\text{H}_4$, $\text{R}_2 = \text{CH}_3$ (**c**);
 $\text{R}_1 = 3\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4$, $\text{R}_2 = \text{CH}_3$ (**d**); $\text{R}_1 = 3\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4$, $\text{R}_2 = \text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{OCH}_3$ (**e**); $\text{R}_1 = 3\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4$,
 $\text{R}_2 = \text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5$ (**f**)

Схема 1

Стоит отметить, что реакция в предложенных условиях протекала селективно только по 8-*ОН* группе хромана. Алкилирование по *NH*-группам практически не наблюдалось даже в случае нагревания при температуре более 80 °С. Кроме того, было установлено, что реакция протекает успешно в независимости от природы уходящей группы алкилирующего агента.

Строение алкилированных по кислороду 8-алкокси-10b-метил-1,2,3,4,4a,10b-гексагидро-2*H*-хромено[4,3-*d*]пиримидин-2,5(1*H*)-дионов **3a-f** установлено на основании совокупности данных ИК-, ЯМР-спектроскопий, масс-спектрометрии и РСА для структуры **3a** (рис. 1).

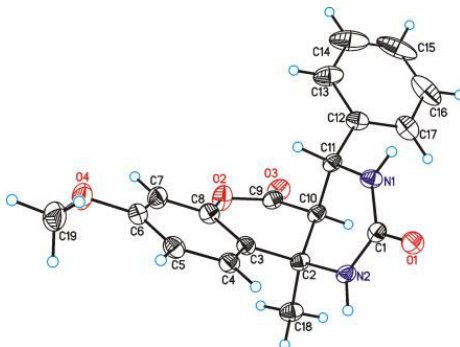


Рис. 1. Общий вид молекулы **3a** в представлении атомов эллипсоидами тепловых колебаний с 50% вероятностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Site-selective and stereoselective O-alkylation of glycosides by Rh (II)-catalyzed carbenoid insertion / J. Wu [et al.] // *J. Am. Chem. Soc.* 2019. Vol. 141, № 50. P. 19902-19910.
2. Reimer R.R. Acute leukemia after alkylating-agent therapy of ovarian cancer / R.R. Reimer, R. Hoover, J. F. Fraumeni Jr, R. C. Young // *N. Engl. J. Med.* 1977. Vol. 297, № 4. P. 177-181.
3. Chromenopyridines: promising scaffolds for medicinal and biological chemistry / L.J. Núñez-Vergara [et al.] // *Curr. Med. Chem.* 2011. Vol. 18. P. 4761–4785.
4. Synthesis and cytotoxic evaluation of novel chromenes and chromene(2,3-*d*)pyrimidines / M.N.M. Yousif, A.-R.B.A. El-Gazzar, A.A. Fayed, M.A. El-Manawaty, N.M. Yousif // *J. Appl. Pharm. Science.* 2020. Vol. 10, № 12. P. 35-43.
5. Synthesis and modification at the hydroxyl group of substituted hexahydro-2*H*-chromeno[4,3-*d*]pyrimidine-2,5-diones / E.S. Makarova, M.V. Kabanova, S.I. Filimonov, A.A. Shetnev, K.Yu. Suponitsky // *Russ. Chem. Bull.* 2022. Vol. 71, № 5. P. 1034-1042.

**СИНТЕЗ ВОДОРАСТВОРИМЫХ НЕСИММЕТРИЧНЫХ
ПОРФИРИНОВ, СОДЕРЖАЩИХ ОСТАТКИ
БЕНЗОКСАЗОЛА И БЕНЗО-N-МЕТИЛИМИДАЗОЛА**

М.А. Лебедев¹, А.Н. Киселев², С.А. Сырбу^{1,2}

Научный руководитель - **С.А. Сырбу**, д-р хим. наук

¹Ивановский государственный химико-технологический университет

²Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН

С использованием метода металлокомплексного катализа проведен направленный синтез новых водорастворимых несимметричных порфиринов, содержащие в одной молекуле три сульфопенильных фрагмента и остатки малых гетероциклических молекул. Структура синтезированных порфиринов подтверждена методами ЭСП, ТСХ, ¹H ЯМР, MALDI-TOF.

Ключевые слова: синтез, палладий катализируемые реакции, порфирины, C-H-функционализация

**SYNTHESIS OF WATER-SOLUBLE UNSYMMETRICAL
PORPHYRINS CONTAINING BENZOXAZOLE
AND BENZO-N-METHYLIMIDAZOLE RESIDUES**

M. A. Lebedev¹, A.N. Kiselev², C.A. Syrbu^{1,2}

Scientific Supervisor - **C.A. Syrbu**, Doctor of Chemical Sciences

¹Ivanovo State University of Chemistry and Technology

²G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the RAS

Using the method of metal complex catalysis, a directed synthesis of new water-soluble asymmetric porphyrins containing three sulfophenyl fragments and residues of small heterocyclic molecules in one molecule was carried out. The structure of the synthesized porphyrins was confirmed by UV-VIS, TLC, ¹H NMR, MALDI-TOF.

Keywords: synthesis, palladium-catalyzed reactions, porphyrins, C-H-functionalization

В последнее наблюдается тенденция применения порфиринов в биомедицинских и диагностических целях. Преимущественная локализа-

ция порфиринов в опухолях, а также их способность генерировать активные формы кислорода и низкая темновая токсичность привели к их использованию в фотодинамической терапии. Способность порфиринов к флуоресценции обуславливает интерес к данным соединениям как меткам и маркерам для биовизуализации. Динамично развиваются и другие направления использования порфиринов, это и биосенсорика, *in vivo* магнитно-резонансная томография, позитронно-эмиссионная томография и фотоиммунотерапия [1, 2]. Для успешного применения порфиринов важным является гидрофильно/гидрофобный баланс в молекулах порфиринов, обуславливающий их локализацию или нацеливание на те или иные биомолекулы (биосубстраты). Поэтому важным является развитие методов направленного синтеза порфиринов, обладающих растворимостью в водных средах и периферийными заместителями, повышающими селективность связывания с биомолекулами. Целью данной работы являлось получение порфиринов, содержащих три сульфо-группы, обеспечивающих растворимость в водных средах и остаток гетероциклических молекул, обеспечивающий повышение селективности связывания с биомолекулами.

Порфирины 5-[4'-(1'',3''-бензоказол-2''-ил)фенил]-10,15,20-трис(4'-сульфофенил)порфин (O-spor), 5-[4'-(N-метил-1'',3''-бензимидазол-2''-ил)фенил]-10,15,20-трис(4'-сульфофенил)порфин (N-spor) были получены по схеме, представленной на рис. 1.

Первоначально методом «смешанных альдегидов» был синтезирован и наработан в достаточном количестве исходный 5(4'-бромфенил)-10,15,20-трифенилпорфин. Далее по разработанной ранее методике [3] бромзамещенный порфирин был переведен в цинковый комплекс, и осуществлено палладий катализируемое сочетание цинкового комплекса бромзамещенного порфирина с соответствующим гетероциклом (бензоксазолонили бенз-N-метилимидазолом). На завершающей стадии синтеза было проведено сульфирование образовавшихся несимметричных гетерилпорфиринов по фенильным фрагментам.

Выход 5-[4'-(N-метил-1'',3''-бензимидазол-2''-ил)фенил]-10,15,20-трис(4'-сульфофенил)порфина и 5-[4'-(1'',3''-бензоксазол-2''-ил)фенил]-10,15,20-трис(4'-сульфофенил)порфина составил 92 и 98% соответственно.

Строение синтезированных порфиринов доказано с использованием традиционных методов органической химии.

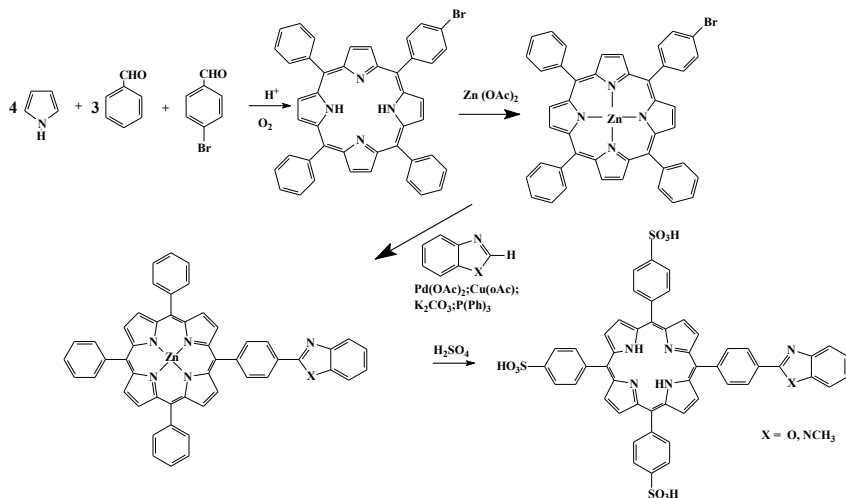


Рис. 1 Схема синтеза водорастворимых монотерилзамещенных порфиринов

Для 5-[4'-(N-метил-1'',3''-бензимидазол-2''-ил)фенил]-10,15,20-трис(4'-сульфофенил)порфина: $R_f = 0.52$ (EtOH - 25%-ный раствор аммиака (20:1). ^1H ЯМР δ , м.д.: 8.92-8.89m (4H, $\text{H}^{3,7,13,17}$), 8.67-8.66m (2H, $\text{H}^{8,12}$), 8.44-8.43m (2H, $\text{H}^{2,18}$), 8.22-8.21m (8H, $\text{H}^{2,6-\text{HPh}}$), 8.07-8.06m (8H, $\text{H}^{3,5-\text{HPh}}$), 8.01-7.94m (4H, N-метилбензимидазола), 4.40 s (3HN-Me); -0.82 bs (2H, NH) (DMSO- d_6). ЭСП: λ_{max} , нм (lg ϵ): 639(3.57), 581(3.75), 556(3.83), 517(4.06), 414(5.43) (H_2O). MALDI-TOF MS: m/z Рассчитано: $\text{C}_{52}\text{H}_{36}\text{N}_6\text{O}_9\text{S}_3$, 987.0716; Найдено: 987.1206.

Для 5-[4'-(1'',3''-бензоксазол-2''-ил)фенил]-10,15,20-трис(4'-сульфофенил)порфина: $R_f = 0.55$ (EtOH - 25%-ный раствор аммиака (20:1). ^1H ЯМР δ , м.д.: 8.92-8.89m (4H, $\text{H}^{3,7,13,17}$), 8.67-8.66m (2H, $\text{H}^{8,12}$), 8.44-8.43m (2H, $\text{H}^{2,18}$), 8.22-8.21m (8H, $\text{H}^{2,6-\text{HPh}}$), 8.07-8.06m (8H, $\text{H}^{3,5-\text{HPh}}$), 8.01-7.94m (4H, от N-метилбензимидазола), 4.40 s (3HN-Me); -0.82 bs (2H, NH) (DMSO- d_6). ЭСП: λ_{max} , нм (lg ϵ): 639(3.57), 581(3.75), 556(3.83), 517(4.06), 414(5.43) (H_2O). MALDI-TOF MS: m/z Рассчитано: $\text{C}_{52}\text{H}_{36}\text{N}_6\text{O}_9\text{S}_3$, 987.07; Найдено: 987.12. ^1H ЯМР δ , м.д.: 8.93-8.87m (4H, $\text{H}^{3,7,13,17}$), 8.69-8.67m (2H, $\text{H}^{8,12}$), 8.52-8.51m (2H, $\text{H}^{2,18}$), 8.22-8.20m (8H, $\text{H}^{2,6-\text{HPh}}$), 8.07-8.05m (8H, $\text{H}^{3,5-\text{HPh}}$), 7.65-7.54m (4H, бензоксазола); -0.83 bs (2H, NH) (DMSO- d_6). ЭСП: λ_{max} , нм (lg ϵ): 644(3.74), 589(3.84), 557(3.96), 521(4.12), 414(5.37) (H_2O). MALDI-TOF MS: m/z Рассчитано: $\text{C}_{51}\text{H}_{33}\text{N}_5\text{O}_{10}\text{S}_3$, 972.0377; Найдено: 972.5528.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ №.21-73-20140.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tsolekile N.* Porphyrin as diagnostic and therapeutic agent / N. Tsolekile, S. Nelana, O.S. Oluwafemi // *Molecules*. 2019. Т. 24. С. 2669-2684.
2. *Лебедева Н.Ш.* Супрамолекулярные системы на основе макроциклических соединений с протеинами. Перспективы применения / Н.Ш. Лебедева, О.И. Койфман // *Биоорганическая химия*, 2022 Т. 48, № 1. С. 3-31.
3. *Kiselev A.N.*, Functionalization of Porphyrins Using Metal-Catalyzed C–H Activation / A.N. Kiselev, S.A. Syrбу, N.S Lebedeva, Y.A Gubarev // *Inorganics*, 2022. Т. 10. № 5. С. 78.

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ШИПУЧИХ ПОРОШКОВ ЭКСТЕМПОРАЛЬНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

К.С. Романова¹ А.А. Трубников²

Научный руководитель – **А.А. Трубников**, канд. фарм. наук,
доцент

¹Ярославский государственный технический университет

²Ярославский государственный медицинский университет

Рассматривается сравнение различных составов лекарственных порошков и разработка наилучшего по свойствам и возможности хранения. Также подбор наилучшей упаковки для хранения порошков в ходе ряда опытов.

Ключевые слова: концентрация, шипучие порошки, индивидуальный подбор препарата, доступность.

DEVELOPMENT OF COMPOSITION AND TECHNOLOGY OF EFFERVESCENT POWDERS OF EXTEMPORAL MANUFACTURE

K.S. Romanova¹, A.A. Trubnikov²

Scientific Supervisor **A.A. Trubnikov** – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor

¹ Yaroslavl State Technical University

² Yaroslavl State Medical University,

The comparison of different compositions of medicinal powders and the development of the best in terms of properties and storage capabilities are considered. Also, the selection of the best packaging for storing powders during a series of experiments.

Keywords: concentration, effervescent powders, individual selection of the drug, availability.

Основными компонентами шипучих таблеток и являются газообразующие вещества, которые составляют от 80 до 95% их общей массы.

После анализа литературы нами для исследования предложено пять составов газообразующих смесей состоящих их лимонной кислоты и натрия гидрокарбоната в различных соотношениях.

После приготовления газообразующих смесей измеряли рН полученных растворов. Анализ полученных данных показал, что наиболее кислую рН имеет основа с соотношением лимонная кислота – натрия гидрокарбонат 1:1,2 (3,89), а наиболее щелочную – газообразующая основа с соотношением ингредиентов 1:2,5 (6,46).

Для выяснения условий и срока хранения полученных основ часть приготовленных газообразующих основ переносили в фарфоровые чашки, взвешивали и оставляли на открытом воздухе для хранения. Через 3 недели фарфоровые чашки с основами взвешивали ещё раз. При хранении газообразующей смеси на открытом воздухе наблюдалось уменьшение их массы. Предполагаем, что их нахождение во влажной воздушной среде может приводить к частичному взаимодействию лимонной кислоты и натрия гидрокарбоната. Основа №1, которую хранили в герметичном штангле оставалась сыпучей в течение 1 месяца. Вследствие этого, при необходимости приготовления газообразующих основ в качестве внутри-аптечной заготовки, рекомендуем хранить их в герметичном штангле, не более 30 суток.

В качестве объектов для апробации экстемпоральной технологии шипучих порошков нами предложена оригинальная пропись шипучих порошков Антигриппин №1 и №2. Состав действующих веществ этих порошков предложен нами после изучения литературных данных и Интернет-источников по составу порошков с торговым названием «Антигриппин». Всего выявлено 16 составов таких порошков, значительно отличающихся как по составу, так и по дозе действующих веществ.

После тщательного сравнительного анализа составов нами предложены составы шипучих порошков с некоторыми модификациями известных составов. Так, мы предлагаем включить в состав порошков Антигриппин №1 и №2 20 мг дибазола на 1 порошок, в качестве иммуностимулирующего средства, а в качестве корригента вкуса предлагаем использовать фруктозу.

В качестве второй модели нами разработаны шипучие порошки, содержащие «кардиологические» дозы ацетилсалициловой кислоты по 50 мг и 100 мг на 1 порошок. По нашему мнению, применение «кардиологических» доз ацетилсалициловой кислоты в качестве шипучего порошка будет более комфортным для пациента, а значит, увеличит его приверженность к терапии.

Приготовленные по предложенным прописям порошки изучали на скорость растворения и рН получаемого раствора.

Для этого один порошок помещали в химический стакан с 200 мл воды очищенной. Составы растворялись полностью, скорость растворения всех прописей составляла от 10 до 30 с. Отмечено, что порошки Антигриппина давали слабокислые растворы (рН 6,32 и 5,76 соответствен-

но), а порошки с ацетилсалициловой кислотой давали растворы с достаточной кислым значением pH (pH 2,05 и 2,1 соответственно).

Следующим этапом работы явилось изучение влияния упаковки на качество шипучего порошка. Для этого приготовленные шипучие порошки расфасовывали в вошанные или пергаментные капсулы и взвешивали на аналитических весах сразу после упаковки и через 8-14 суток. Отмечено, что и в вошанных капсулах и в пергаментных капсулах все прописи шипучих порошков дали прирост массы. Так как в результате эксперимента по выбору упаковки для хранения шипучих порошков нами получены разнонаправленные результаты, однозначной рекомендации по выбору упаковки пока дать нельзя. Эксперимент следует продолжить.

Заключение

1. Шипучие лекарственные формы широко представлены на фармацевтическом рынке Российской Федерации, так по данным на март 2021 г. зарегистрировано 46 лекарственных препаратов в виде шипучих лекарственных форм, в том числе 43 наименования шипучих таблеток и 3 наименования шипучих порошков.

2. Шипучие ЛФ представлены пятнадцатью фармакотерапевтическими группами. Большую часть зарегистрированных шипучих ЛФ составляет группа анальгетиков-антипиретиков (24%), далее следует группа препаратов для симптоматического лечения простуды и гриппа (21,7%), затем витамины и витаминно-минеральные комплексы (15,2%) и муколитики (10,9%). Остальные фармакотерапевтические группы представлены 1-2 препаратами.

3. Анализ вспомогательных веществ зарегистрированных шипучих лекарственных препаратов показал, что в качестве газообразующего вещества чаще всего применяется лимонная кислота и натрия гидрокарбонат.

4. Предложено пять газообразующих основ и проведен их анализ, определены условия и срок их хранения – в герметичном штанглесе, не более 30 суток.

5. Предложены составы шипучих порошков – две прописи Антигриппина и две прописи шипучих порошков ацетилсалициловой кислоты в «кардиологической» дозе.

6. Изучены условия хранения шипучих порошков, для их упаковки предложены пергаментные и вошанные капсулы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. № 1741804 СССР, МКИ А61 К3 1/60. Способ производства сухих шипучих напитков / А.Н. Стачинский, А.М. Шевченко и др. (СССР): №4814159, заявл. 16.04.90; опубл. 23.06.92, Бюл. №23.

2. *Галиуллина Т.Н.* Разработка состава и технологии растворимых шипучих таблеток ацетилсалициловой кислоты // *Фармация*. 2001. № 5. С. 9-11.
3. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV издания: [сайт]. URL: <http://www.femb.ru/femb/pharmacopea.php>
4. Государственный реестр лекарственных средств URL: <http://grls.rosminzdrav.ru/GRLS.aspx?RegNumber=&MnnR=&lf=таблетки+шипучие&TradeNmR=&OwnerName=&MnfOrg=&MnfOrgCountry=&isfs=0&isND=1®type=1%2c6&pageSize=10&order=RegDate&orderType=desc&pageNum=1>
5. *Краснюк И.И.* Фармацевтическая технология: Технология лекарственных форм: Учебник для студ. сред. проф. учеб. заведений / И.И. Краснюк, Г.В. Михайлова, Е.Т. Чижова; под ред. И.И. Краснюка, Г.В. Михайловой. М.: Издат. центр «Академия», 2004. 464 с.

КОНЦЕПЦИЯ ХИММОТОЛОГИИ

К.С. Рудаков, Б.А. Хайруллин, Н.В. Симатов, Н.Г. Макаренко

Научный руководитель – **Н.Г. Макаренко**, канд. техн. наук

Военный инновационный технополис «ЭРА»

Рассматриваются цели и задачи науки химмотологии, представлено современное трактование науки, ее роль для развития техники и общества в целом.

***Ключевые слова:** качество, системный поход, техника, топливо-смазочные материалы, химмотология, эксплуатация*

THE CONCEPT OF CHIMMOTOLOGY

K.S. Rudakov, N.V. Simatov, B.A. Khayrullin, N.G. Makarenko

Scientific Supervisor -- **N.G. Makarenko**, Candidate of Technical Sciences

Military Innovative Technopolis «ERA»

The goals and objectives of the science of chemmotology are considered, the modern interpretation of science, its role for the development of technology and society as a whole are presented.

***Keywords:** quality, system campaign, technique, fuel and lubricants, chemmotology, exploitation*

Анализ исследований и публикаций энциклопедической концепции науки определяет химмотологию, как сферу человеческой деятельности, функцией которой является развитие и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности [4, 5]. Прямыми целями науки являются описание, объяснение и прогнозирование процессов и явлений действительности, которые являются предметом ее изучения на основе публичного права, то есть теоретического отражения действительности. Химмотология обладает всеми этими особенностями.

Современное определение химмотологии интерпретируется следующим образом: Обеспечение надежного и экономичного совместного полета этих деталей, увязывающих самые разные требования (грузоподъемность, расход топлива, дальность полета, шум при взлете и посадке, требования к продолжительности взлета и посадки, необходимость легкого обслуживания на земле, отсутствие обледенения, безопасность людей на борту и так далее) возможно только с помощью системного инженерного подхода, учитывающего требования множества специалистов, представляющих различные профессиональные и общественные группы .

Обобщенная функция полезности горюче-смазочных материалов, как общественно полезных продуктов (в отличие от обобщенной функции транспортных средств) не может быть описана соответствующей конструкторской документацией и чертежами. Именно это принципиальное отличие горюче-смазочных материалов от продукции машиностроения объективно привело к появлению химмотологии [2-5].

Как мы знаем из классических научных работ по химмотологии, в любых машинах и оборудовании, использующих топливо, смазочные материалы и технические жидкости, существует универсальная четырехуровневая система химмотологии. Эта система учитывает взаимосвязь между качеством горюче-смазочных материалов, надежностью оборудования и условиями его эксплуатации.

В настоящее время рассмотрение проблем химмотологии за рамками системного подхода к знаниям невозможно. Это качественно выше, чем просто субстанциональный способ познания.

Ухудшение качества горюче-смазочных материалов и технических жидкостей также характерно для эксплуатации техники в результате испарения, накопления продуктов окисления, выпадения в осадок и вымывания некоторых присадок, смешивания горюче-смазочных материалов и технических жидкостей разных марок и др.

Следовательно, фундаментальность науки химмотологии является проявлением системы методологических характеристик для решения современных инженерных задач, совершенствования технологии и разработки источников энергии для автомобилей одновременно. Применяя химмотологию и действуя ее знаниями, можно добиться значительных результатов научно-технического прогресса в технике. Концепция химмотологии заключается в систематической интеграции знаний из инженерной, химической, нефтеперерабатывающей и нефтехимической сфер научной и практической деятельности для достижения синергетических результатов в обеспечении надежности, безопасности, долговечности и эффективности оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Братков А.А.* Теоретические основы химмотологии. М.: Изд-во "Химия". 320 с.
2. *Гуреев А.А.* Химмотология / А.А. Гуреев, И.Г. Фукс, В.Л. Лахши. М.: Изд-во "Химия", 1985. 304 с.
3. *Большаков Г.Ф.* Физико-химические основы применения горюче-смазочных материалов. Новосибирск: Изд-во "Наука", 1987. 269 с.
4. *Яновский Л.С.* Инженерные основы авиационной химмотологии / Л.С. Яновский, Н.Ф. Дубовкин, Ф.М. Галимов. Казань: Изд-во Казанского гос. ун-та, 2005. 714 с.
5. *Аксенов А.* Химмотологическая научно-педагогическая школа в системе информационного обеспечения учебного процесса / А. Аксенов, С. Бойченко, В. Терехин // Нефть и газ. 2009. Т. 1. С. 74-79.

УДК 547.563.1

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ 2,5-КСИЛЕНОЛА

**А.М. Мартьянова, Е.Р. Швайковская, 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

Разработаны научные и прикладные основы метода получения 2,5-ксиленола. Исследованы закономерности основных стадий предлагаемого метода.

Ключевые слова: гидропероксидный метод, пара-ксилол, 2,5-ксиленол, 2-изопропил-1,4-диметилбензол, жидкофазное окисление, кислотное разложение, N-гидроксифтальимид

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR OBTAINING 2,5-XYLENOL

**A. M. Martyanova, E.R. Shvaykovskaya, 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

Scientific and applied foundations of the method for obtaining 2,5-xyleneol have been developed. The regularities are investigated of the main stages of the proposed method.

Keywords: hydroperoxide method, para-xylene, 2,5-xyleneol, 2-isopropyl-1,4-dimethylbenzene, liquid-phase oxidation, acid decomposition, N-hydroxyphthalimide

Одной из актуальных задач современной органической химии является разработка новых или модернизация уже существующих методов для синтеза востребованных соединений. К таким веществам можно отнести диметилфенолы. Они находят широкое применение во многих сферах жизнедеятельности человека. Ксиленолы (диметилфенолы) имеют

шесть изомеров: 2,3-ксиленол, 2,4-ксиленол, 2,5-ксиленол, 2,6-ксиленол, 3,5-ксиленол, 3,4-ксиленол [1].

2,5-Диметилфенол используется для производства фармацевтических препаратов, душистых веществ, пластмасс, резины, смачивающих веществ и красителей. Он является растворителем, дезинфекционным средством, служит как антибактериальное и санитарное вещество в составе промышленных смесей, применяемых для обработки больничных помещений, инструментов и оборудования [2].

В настоящее время в промышленности ксиленолы получают переработкой природного сырья, в основном твердых топлив. Известные синтетические методы получения ксиленолов, характеризуются многостадийностью, низким выходом целевых продуктов, большим расходом вспомогательных материалов и в промышленности не реализованы, что приводит к сдерживанию развития перспективных отраслей химической промышленности, где используются ксиленолы.

Наиболее перспективным и экономически предпочтительным является гидропероксидный метод получения ксиленолов, который включает стадии получения изопропилксилолов, их жидкофазного окисления до третичных гидропероксидов и последующего кислотного разложения до целевых продуктов [3]. Преимущества этого метода заключаются в том, что он аналогичен широко распространенному «кумольному» методу получения фенола и ацетона, а также в том, что наряду с ксиленолом можно получить еще один ценный продукт – ацетон [4].

Данный процесс протекает по схеме 1.

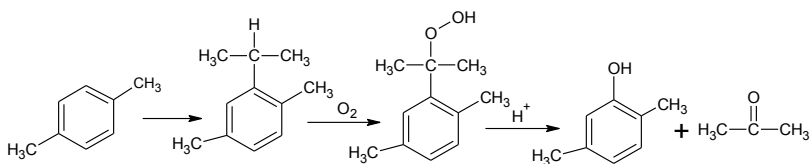


Схема 1

Алкилирование *para*-ксилола изопропиловым спиртом проводили при непрерывном перемешивании при температуре 20 °С в течение 2 ч в присутствии концентрированной серной кислоты в качестве катализатора. Соотношение реагентов *para*-ксилол:изопропиловый спирт:серная кислота составило 3:1:3. Исследование влияния температуры и продолжительности реакции на селективность образования изопропил-*para*-ксилола показало, что оптимальными условиями, позволяющими достичь максимального выхода целевого продукта (96,3% мас.), являются температура 20 °С и продолжительность реакции 2 ч.

Ключевой стадией разрабатываемого процесса является жидкофазное окисление изопропил-*пара*-ксилоладо гидропероксида. Процесс проводили на установке проточно-замкнутого типа. Проточно-замкнутая окислительная установка сочетает в себе достоинства установки замкнутого типа: использование малых количеств углеводорода, возможность производить замер поглощенного кислорода, легкость достижения кинетического режима.

Известно, что изопропил-*пара*-ксилол обладает низкой способностью к окислению. В настоящей работе был исследован процесс окисления изопропил-*пара*-ксилола в отсутствие катализатора и с использованием *N*-гидроксифталимида. В качестве приоритетного катализатора окисления рекомендуется использовать *N*-гидроксифталемид в силу его высокой эффективности в процессах окисления различных углеводородов, доступности исходного сырья и низкой стоимости. На основании экспериментальных данных было установлено, что использование *N*-гидроксифталемид в качестве катализатора окисления значительно повышает концентрацию ГП в оксидате в сравнение с уже имеющимися литературными данными процесса окисления ксилолов.

Для превращения ГП изопропил-*пара*-ксилола в 2,5-ксиленол и ацетон в качестве катализатора была использована серная кислота, как доступный реактив, не требующий регенерации и легко выводимый из системы. В ходе работы было изучено влияние температуры на процесс кислотного разложения ГП изопропил-*пара*-ксилола; за ходом реакции следили по расходу ГП изопропил-*пара*-ксилола с использованием йодометрического титрования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нейлад О.Я.* Органическая химия: Учеб. для хим. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1990. 751 с.
2. Энциклопедия по безопасности и гигиене труда = *Encyclopedia of occupational health and safety*: Пер. с англ.: [В 4 т.] / Международная организация труда. Женева; Гл. ред. А.П. Починюк; Редкол.: В.Н. Варов [и др.]. 4-е изд. М.: М-во труда и соц. развития, 2001. [Т.] 2: Угрозы для здоровья. 2001. 924, [1] с.
3. *Харлампович Ю.Р.* Фенолы / Ю.Р. Харлампович, Ю.В. Чуркин. М.: Наука, 1974. 380 с.
4. Фролов А.С. Гидропероксидный метод получения ксиленолов совместно с ацетоном: автореф. дис. ... канд. хим. наук; ЯГТУ. М., 2016. 17 с

УДК 615.014.64

**СИНТЕЗ ЛАТЕКСОВ ПРИВИТЫХ СОПОЛИМЕРОВ
МЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ИХ АПРОБАЦИЯ
В СОСТАВЕ ГАСТРОРЕЗИСТЕНТНЫХ ОБОЛОЧЕК ТАБЛЕТОК**

К.В. Величко, В.В. Климаченкова, А.О. Клепикова

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

Ярославский государственный технический университет

В статье рассмотрен способ синтеза латексов привитых сополимеров метакриловой кислоты, при котором минимизирована вероятность образования гомополимеров. Осуществлена апробация синтезированного латекса в качестве гастрорезистентного плёночнопокрытия модельных таблеток. Установлено, что полученный латекс потенциально может быть использован в качестве пленкообразователя, обеспечивающего рН-зависимое высвобождение активной фармацевтической субстанции.

Ключевые слова: сополимеры метакриловой кислоты, кишечнорастворимые покрытия, плёночные оболочки таблеток

**SYNTHESIS OF LATEXES OF GRAFTED COPOLYMERS
OF METHACRYLIC ACID AND THEIR APPROBATION
IN THE COMPOSITION OF GASTRO-RESISTANT TABLET
COATINGS**

K.V. Velichko, V.V. Klimachenkova, A.O. Klepnikova

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

Yaroslavl State Technical University

The article considers a method for the synthesis of latexes of graft copolymers of methacrylic acid, in which the probability of formation of homopolymers is minimized. The synthesized latex was tested as a gastro-resistant film coating of model tablets. It has been established that the resulting latex can potentially be used as a film-forming agent, providing a pH-dependent release of the active pharmaceutical substance.

Keywords: methacrylic acid copolymers, enteric coatings, tablet film coatings

Синтезированный плёнокообразователь является латексом, частицы которого относятся к типу “ядро-оболочка”, и получен методом затравочной эмульсионной полимеризации. «Ядром» латексных частиц являл-

ся гомополимер диена, который получали на первой стадии синтеза. К нему на второй стадии присоединяли звенья метакриловой кислоты диена, образуя «оболочку».

Выход полимера определялся гравиметрически. Кинетические зависимости выхода продуктов от времени реакции представлены на рис. 1.

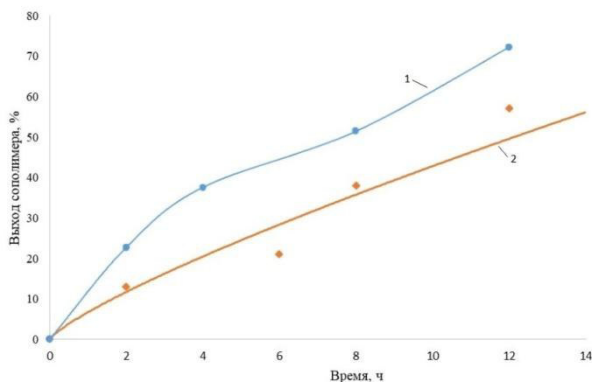


Рис. 1. Кинетическая зависимость выхода полимера от времени реакции: 1 – для синтеза затравочного полимера; 2 – для синтеза привитого сополимера

На второй стадии синтеза, при прививке звеньев метакриловой кислоты возможно протекание нежелательной реакции гомополимеризации метакриловой кислоты. Для исключения этого процесса синтез проводили в условиях эмульгаторного «голодания», что позволило избежать зарождения новых частиц. Количество адсорбированного эмульгатора затравочными латексными частицами измеряли по методике [1]. Значение адсорбционной насыщенности не должно было превышать 70-80 %. Также для предотвращения полимеризации метакриловой кислоты в растворе, ее предварительно растворяли в диене и только затем вводили в реакционную смесь.

Синтезированный латекс с концентрацией сухих компонентов 5-10% мас. апробировали в качестве пленкообразователя при создании пленочных оболочек модельных таблеток. Спрессованные круглые двояковыпуклые таблетки, содержащие метамизол натрия, в качестве активной фармацевтической субстанции покрывали разработанным составом на лабораторной установке, подавая его через форсунку с одновременным высушиванием теплым воздухом. Нанесение покрытия останавливали при наращивании массы таблеток до 3% по отношению к первоначальной.

Покрывые пленочной оболочкой таблетки тестировали на растворимость в соответствии с фармакопейной статьей [2] при различных значениях pH среды растворения, пробы среды растворения исследовали на содержание метамизола натрия по фармакопейной статье [3]. По результатам анализа были построены зависимости высвобождения метамизола натрия в среде растворения от времени, в течение которого таблетка подвергалась растворению (рис. 2 и 3).

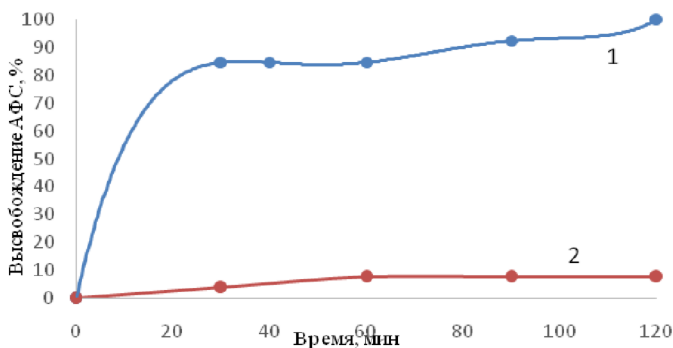


Рис. 2. Высвобождение метамизола натрия из таблетки, покрытой полимерной плёночной оболочкой и из таблетки без покрытия при pH среды растворения 1,2:

1 – таблетка без покрытия; 2 – таблетка, покрытая плёночной оболочкой на основе нового пленкообразователя

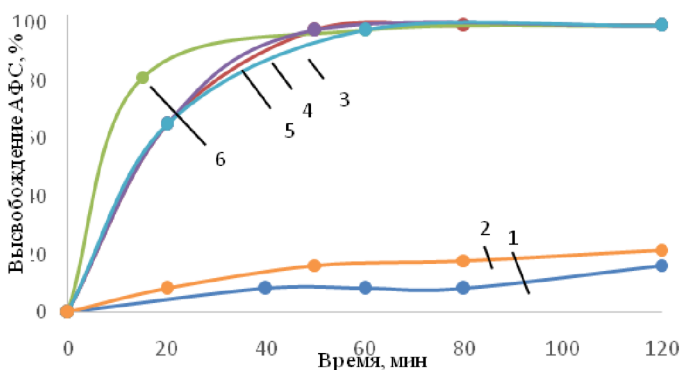


Рис. 3. Высвобождения метамизола натрия из таблеток, покрытых плёночной оболочкой при различных pH среды растворения:

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

Выводы

В настоящей работе предложен способ получения плёнообразователя для создания пленочных покрытий таблеток. Из приведённых результатов (см. рис. 2) видно, что покрытие проявляет гастрорезистентность, а при $\text{pH} = 7,2-9,0$ (см. рис. 3) происходит высвобождение активной субстанции в среду растворения. Таким образом, показано, что предложенный состав плёнообразователя может быть перспективен для применения в пленочных оболочках твердых дозированных лекарственных форм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.С. Туров Методы получения и анализа синтетического каучука и пластмасс: Учебное пособие / Б.С. Туров, Н.М. Миронова, О.К. Швецов. 5-е изд., перераб. и доп. / Яросл. гос. тех. ун-т. Ярославль, 2000. 80 с.
2. ОФС 1.4.2.0014.15. Растворение для твердых дозированных лекарственных форм: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2018. 19 с.
3. ФС.2.1.0003.15. Метамизол натрия: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2018. 6 с.

УДК 678.01:66.022.32

ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА, СОДЕРЖАЩИХ ТВЕРДЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ ОСТАТОК ПИРОЛИЗА ШИН

А.А. Галушко, М.А. Куликов, А.Б. Ветошкин, О.Ю. Соловьева

Научный руководитель – **А. Б. Ветошкин**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Исследовано влияние углеродного остатка пиролиза шин на свойства резины на основе каучука СКС-30АРК. Показано, что данный материал обладает определенным усиливающим действием, хотя и менее выраженным по сравнению с низкоактивным техническим углеродом П 803. Дополнительное измельчение углеродного остатка, полученного в соответствии с существующими стандартами, позволяет на 40-50 % повысить прочность содержащих его резины.

***Ключевые слова:** резина, углеродный остаток пиролиза, деформационно-прочностные свойства.*

DEFORMATION-STRENGTH PROPERTIES OF RUBBER BASED ON BUTADIENE-STEEL RUBBER CONTAINING SOLID CARBON RESIDUE FROM TYRE PYROLYSIS

A.A. Galushko, M.A. Kulikov, A.B. Vetoshkin, O.Yu. Solovyova

Scientific Supervisor - **A.B. Vetoshkin**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper presents a study of the effect of tyre pyrolysis carbon residue on the properties of rubbers based on SKS-30ARK rubber. This material has a certain reinforcing effect, although less obvious in comparison with the low-active technical carbon P 803. Additional treatment in shredding of carbon residue obtained in accordance with existing standards allows to increase strength of rubbers containing it by 40-50%.

***Keywords:** rubber, pyrolysis carbon residue, deformation-strength properties*

В настоящее время в связи с резким ростом численности автомобильного транспорта в стране растет острота проблемы утилизации изношенных автомобильных шин, количество которых в России ежегодно достигает 1 млн т. Хотя амортизированные шины и имеют относительно низкий уровень экологической опасности, они занимают очень много места на свалках, так как время естественного разложения их может достигать 150 лет, а объем, занимаемый шиной, на порядок больше объема содержащихся в ней материалов. При этом шины относятся к тем отходам, которые можно использовать как вторичное сырьё для промышленного производства.

Одним из методов утилизации амортизированных шин является пиролиз, в результате которого происходит полное разрушение исходного материала с образованием газообразных, жидких и твердых продуктов. Газообразные продукты сжигаются в установках пиролиза, обеспечивая проведение процесса, жидкие продукты могут использоваться либо как топливо, либо в качестве пластифицирующих добавок в рецептуре полимерных композиционных материалов, а твердый остаток, согласно литературным данным, может использоваться в качестве низкоактивного углеродного наполнителя резин.

Однако, имеющиеся в литературе сведения относительно активности данного наполнителя весьма противоречивы. С одной стороны утверждается, что углеродный остаток по усиливающей способности близок к техническому углероду (ТУ) П 803 [1] и вполне может использоваться в рецептуре ответственных резин, а с другой, наоборот, что без серьезной химической обработки данный материал существенно уступает даже низкоактивным сортам ТУ [2]. Связано это, по-видимому, с различиями в исходном сырье и условиями проведения процесса пиролиза.

В настоящей работе исследовалось влияние углеродного остатка пиролиза на свойства резин на основе каучука СКС-30АРК, а так же дополнительного измельчения на его усиливающую способность. Исходный продукт пиролиза, полученный в соответствии с ТУ 20.13.21-002-15482358-2018, в работе обозначен как углеродный наполнитель – УН, продукт после дополнительного измельчения – УНИ. Объектами исследования являлись ненаполненная и наполненные резины на основе бутадиен-стирольного каучука СКС-30АРК. Рецепты резиновых смесей представлены в табл. 1.

Изготовление резиновых смесей осуществлялось на лабораторных вальцах Лб 320 160/160 при общей продолжительности смешения 14 минут. Вулканизация смесей проводилась в электропрессе при 160 °С в течении 20 минут. Деформационно-прочностные свойства вулканизатов показаны в табл. 2.

Таблица 1. Рецепты резиновых смесей с различными наполнителями

Наименование ингредиента	Содержание ингредиентов, мас.ч.			
	Шифр резиновой смеси			
	Э-0	Э-40	УН	УНИ
Каучук СКС-30АРК	100,00	100,00	100,00	100,00
Сера	2,00	2,00	2,00	2,00
Сульфенамид Ц	1,70	1,70	1,70	1,70
Белила цинковые	5,00	5,00	5,00	5,00
Стеарин	1,00	1,00	1,00	1,00
ТУ-П803	-	40,00	-	-
УН	-	-	40,00	-
УНИ	-	-	-	40,00
Итого	109,70	149,70	149,70	149,70

Как и следовало ожидать, твердый углеродный остаток пиролиза обладает определенным усиливающим действием – при содержании его в смеси в количестве 40 мас.ч. наблюдается значительный рост как условных напряжений при 100 и 300 % удлинения (в 2–3 раза), так и пятикратный рост прочности по сравнению с ненаполненной резиной (смеси УН и Э-0 в табл. 2). При этом, однако, степень усиления оказывается невелика. Условная прочность данных резинх на 30-40 % ниже по сравнению с резинами, содержащими технический углерод П 803, а по уровню условных напряжений при заданном удлинении уступают им почти в три раза (см. смеси УН и Э-40 в табл. 2).

Таблица 2 – Деформационно-прочностные свойства резин с различными наполнителями

Показатель	Шифр смеси			
	Э-0	Э-40	УН	УНИ
Условное напряжение, f_b , МПа, при удлинении:				
f_{100} , МПа	0,9	2,8	1,7	1,8
f_{300} , МПа	1,7	9,4	3,8	4,0
Условная прочность при растяжении, f_p , МПа	1,9	14,4	9,5	13,8
Относительное удлинение при разрыве, %	330	450	700	630
Относительное остаточное удлинение, θ , %	4,6	4,8	24	22

Дополнительное измельчение углеродного остатка пиролиза мало влияет на условные напряжения содержащих его резин – (изменения лежат в пределах ошибки опыта), однако позволяет на 40-50% поднять условную прочность резин и приблизить их по данному показателю к эталонной резине, содержащей технический углерод П 803 (см. смеси Э-40 и УНИ в табл. 2).

На основании полученных данных можно заключить, что твердый остаток пиролиза шин обладает слабо выраженным усиливающим эффектом в резиновых смесях, что связано, по-видимому, с недостаточным количеством на поверхности его частиц активных центров, способных сорбировать молекулы каучука. Дополнительное измельчение углеродного остатка, полученного в соответствии с действующими стандартами, позволяет значительно повысить покрывность резин вследствие разрушения наиболее крупных частиц, являющихся опасными дефектами в эластомерном композите.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дзюра Е.А.* Свойства и применение в резинах углеродных наполнителей из твердых остатков пиролиза изношенных шин / Е.А. Дзюра, В.Н. Дедусенко, А.В. Мадатов, А.А. Теплицкий // *Каучук и резина*. 2010. № 2. С. 29-31.
2. *Ахметов С.А.* Технология переработки нефти, газа и твердых горючих ископаемых: Учебное пособие / С.А. Ахметов, М.Х. Ишмияров, А.А. Кауфман; под ред. С.А. Ахметова. СПб.: Недра, 2009. 832 с.

РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА С ТВЕРДЫМ УГЛЕРОДНЫМ ОСТАТКОМ ПИРОЛИЗА ШИН

А.А. Галушко, М.А. Куликов, А.Б. Ветошкин, С.В. Гудков

Научный руководитель – **А.Б. Ветошкин**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Исследовано влияние твердого углеродного остатка пиролиза шин на реометрические характеристики резиновых смесей на основе натурального каучука. Показано, что при частичной и полной замене технического углерода П 803 на углеродный остаток уменьшается вязкость резиновых смесей, степень химического сшивания в оптимальном вулканизации, сокращается продолжительность индукционного периода вулканизации, отмечается рост скорости структурирования в главном периоде. Из всех исследованных вариантов наиболее близкой по реометрическим характеристикам к исходной является резиновая смесь, в которой половина техуглерода П 803 заменена на углеродный остаток.

Ключевые слова: углеродный остаток пиролиза, вязкоупругие свойства, вулканизационные характеристики

RHEOMETRIC CHARACTERISTICS OF RUBBER COMPOUNDS BASED ON NATURAL RUBBER WITH A HARD CARBON RESIDUE OF TYRE PYROLYSIS

A.A. Galushko, M.A. Kulikov, A.B. Vetoshkin, S.V. Gudkov

Scientific supervisor - **A.B. Vetoshkin**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper presents a study of the influence of tyre pyrolysis carbon solid residue on the rheometric characteristics of rubber compounds based on natural rubber. The study shows that partial and complete substitution of technical carbon P 803 for carbon residue decreases the viscosity of rubber compounds, the degree of chemical

bonding at the vulcanization optimum, shortens the duration of the induction period of vulcanization, increases the rate of structuring in the main period. Of all the variants studied, the rubber mixture where half of the carbon P 803 is replaced by the carbon residue is the closest in its rheometric characteristics to the initial one.

Keywords: *pyrolysis carbon residue, viscoelastic properties, vulcanisation characteristics*

С целью сокращения количества мусора, который выбрасывается на свалки и поступает на полигоны, необходимо создать и постоянно совершенствовать систему сбора и переработки таких материалов. При этом особое внимание следует уделять тем отходам, которые возможно переработать во вторичное сырье и вернуть в промышленное производство. К подобного рода отходам относятся изношенные шины, которых только в Российской Федерации ежегодно образуется около 1 млн т.

Одним из возможных способов переработки изношенных шин является пиролиз, в результате которого помимо жидких и газообразных продуктов образуется твердый углеродный остаток [1]. Данный продукт в ряде случаев может использоваться в качестве наполнителя резин, являясь полной или частичной заменой низкоактивного технического углерода П 803 [2]. При этом, наряду с решением основной задачи – снижения количества отходов на свалках, появляется возможность сокращения потребления углеводородного сырья, которое расходуется на производство технического углерода.

Целью настоящей работы явилось изучение направленности и степени изменения вязкоупругих и вулканизационных характеристик производственной резиновой смеси на основе натурального каучука (НК марки RSS-1), содержащей в исходном варианте 100 мас. ч. низкоактивного технического углерода марки П 803, при частичной и полной замене этого наполнителя на углеродный остаток (далее УН – углеродный наполнитель). Резиновые смеси включали обычную серную вулканизирующую группу и противостарители. Состав вулканизирующей группы при введении УН взамен техуглерода П 803 не корректировался.

В качестве углеродного остатка использовался твердый продукт низкотемпературного ($T = 500-550\text{ }^{\circ}\text{C}$) пиролиза шин, дополнительно измельченный в дробилке ударного действия.

Резиновые смеси готовились на лабораторных вальцах при общем времени смешения 16÷17 мин.

Реометрические и вулканизационные характеристики резиновых смесей определялись на виброреометре МДР-2000 в изотермическом режиме при температуре испытания 155 °С. Результаты исследования приведены в табл. 1.

Таблица 1. Реометрические характеристики резиновых смесей на основе НК с разным соотношением технического углерода П 803 и углеродного остатка (УН) в наполнительной группе

Показатель	Шифр смеси			
	П-1 (эталон)	П-2	П-3	П-4
	Соотношение П 803 : УН, мас. ч.			
	100 : 0	50 : 50	25 : 75	0 : 100
M_L , дН·м	0,72	1,14	1,13	1,12
M_H , дН·м	12,30	12,51	12,39	11,75
$(M_H - M_L)$, дН·м	11,58	11,37	11,26	10,63
ts_1 , мин	1,50	1,13	1,11	1,08
t_{10} , мин	1,62	1,23	1,17	1,11
t_{25} , мин	2,81	2,20	2,08	2,01
t_{50} , мин	4,65	4,08	3,90	3,87
t_{90} , мин	9,97	9,86	9,50	9,67
$(t_{90} - ts_1)$, мин	8,47	8,73	8,39	8,59
$tg\delta_{ML}$	1,125	1,165	1,195	1,214
$tg\delta_{MH}$	0,078	0,107	0,111	0,111
R_h , дН·м/мин	1,66	1,83	1,93	1,86
tR_h , мин	3,22	1,84	1,45	1,42

Из приведенных данных видно, что по мере увеличения доли углеродного остатка в группе наполнителей, вводимого взамен технического углерода П 803, с 50 до 100% значительно сокращается индукционный период вулканизации (ts_1) и уменьшается время до достижения 10, 25, 50 и 90%-ной степени вулканизации (t_{10} , t_{25} , t_{50} , t_{90}), при температуре испытания 155 °С проявляется тенденция к увеличению максимума скорости изменения крутящего момента R_h . Это указывает на ускорение процессов сшивания. Причиной является наличие заметного количества активной серы в УН, что необходимо учитывать при корректировке рецептуры резиновых смесей, содержащих данный наполнитель.

О степени химического сшивания резин в области технологического оптимума вулканизации можно судить по разности между максимальным и минимальным значениями крутящего момента ($M_H - M_L$) [3, с. 269]. Согласно полученным данным степень сшивания при полной замене ТУ П 803 на углеродный остаток заметно снижается, однако при содержании углеродного остатка до 50 % остается на уровне, достаточно близком к уровню эталона.

Увеличение тангенса угла механических потерь при достижении максимальной вязкости $tg\delta_{MH}$ свидетельствует о снижении доли химиче-

ских связей каучук – каучук и каучук – наполнитель при увеличении доли УН в наполнительной группе. Одновременно наблюдается и снижение количества локальных сшивок в резиновой смеси, на что указывает рост тангенса угла механических потерь при достижении минимальной вязкости $tg\delta_{ML}$. Но, судя по характеру изменения значений минимального крутящего момента M_L , вязкость резиновых смесей при этом растет, по-видимому, вследствие уменьшения степени однородности распределения наполнителя в каучуковой матрице.

Таким образом, полученные данные показывают, что в резинах на основе изопреновых каучуков даже частичная замена низкоактивного технического углерода на твердый остаток пиролиза шин приводит к существенным изменениям структуры резин, которые не могут не сказаться на свойствах конечного продукта. Следовательно, для достижения положительного результата при использовании пиролизного остатка в составе резиновых смесей потребуется определенная корректировка всей рецептуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дроздовский В.Ф.* Переработка и использование невозстанавливаемых изношенных шин. М.: ООО Научно-производственный коммерческий центр ВЕСКОМ, Ассоциация содействия восстановлению и переработке шин «Шиноэкология», 2018. 370 с.
2. *Дзюра Е.А.* Свойства и применение в резинах углеродных наполнителей из твердых остатков пиролиза изношенных шин / Е.А. Дзюра, В.Н. Дедусенко, А.В. Мадатов, А.А. Теплицкий // Каучук и резина. 2010. № 2. С. 29-31.
3. *Пичугин А.М.* Материаловедческие аспекты создания шинных резин. М., 2008. 383 с.

УДК 678.027.6

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
СО СТИМУЛЯТОРАМИ БИОДЕСТРУКЦИИ
И ИЗГОТОВЛЕНИЕМАКАНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ**

К.Е. Дмитриев, А.А. Ершов, А.О. Шамина, И.С. Коротнева

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

Ярославский государственный технический университет

В работе приводится описание технологии получения полимерного композиционного материала, содержащего стимуляторы биодеструкции, и изготовления маканых изделий на его основе. Впервые применено введение стимуляторов биодеструкции непосредственно в латексную композицию для изготовления маканых изделий.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, маканые изделия, латексная композиция, стимуляторы биодеструкции

**TECHNOLOGY OF PRODUCTION
OF POLYMER COMPOSITE MATERIAL CONTAINING
BIODEGRADATION STIMULANTS AND MANUFACTURING
OF DIPPED PRODUCTS ON ITS BASIS**

K.E. Dmitriev, A.A. Ershov, A.O. Shamina, I.S. Korotneva

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

Yaroslavl State Technical University

The paper describes a technology of preparation of polymer composite material containing biodegradation stimulants and manufacturing of dipped products on its basis. For the first time the introduction of biodegradation stimulants directly into latex composition for manufacturing of dipped products is applied.

Keywords: polymeric composite material, dipped products, latex composition, biodegradation stimulants

Ежегодно в России образуется более 3 млн т полимерных отходов, в то же время на переработку поступает только десятая часть от этого

количества [1]. При этом вторичная переработка полимерных материалов связана с ухудшением механических свойств конечных изделий [2]. Общемировая ситуация аналогична: на 2015 год образовалось более 350 млн т, а по прогнозу на 2050 год количество полимерных отходов должно возрасти до примерно 33 млрд т [1].

Таким образом, экологическая ситуация, связанная с полимерными отходами, ухудшается и требует выработки перспективных путей для решения данной проблемы, одним из вариантов которых является создание биоразлагаемых полимерных изделий.

На отечественном рынке такие изделия ограничиваются упаковочными материалами, а импорт и организация производства на основе зарубежных технологий экономически нецелесообразны, поскольку отсутствует производство сырья [3, 4].

В работе предлагается получение материала на основе латекса синтетических полимеров, содержащего стимуляторы биодеструкции, для изготовления изделий различного назначения маковым способом, например перчаток. При этом в качестве биоразлагающей добавки используют сырьевые отходы лесозаготовительной и пищевой промышленности, крахмала.

Преимуществом технологии является изготовление материала на основе латекса, возможность введения дисперсии стимулятора биодеструкции напрямую в латексную композицию при простом перемешивании, а также отсутствие необходимости в закупке дополнительного энергоемкого оборудования для реализации процесса производства.

В качестве полимерной матрицы был выбран синтетический бутадиен-нитрильный каучук (БНК), Выбор которого обусловлен гипоаллергенностью, высокой масло- и бензостойкостью, что важно при получении конечного продукта. Латекс БНК использовался в качестве замены натурального латекса при производстве маковых изделий медицинского и хозяйственного назначения.

Композиционный материал и маковые изделия на его основе с возможностью к биодеструкции в работе получали методом макания, а именно коагулянтным отложением. В ходе исследования разработаны технология, рецептуры латексной композиции на основе БНК, осуществлен выбор коагулянта, созданы лабораторные установки для получения изделий.

Для получения материала (латексной композиции) в латекс БНК вводились дисперсии серы 50% (вулканизирующий агент), оксида цинка 50% (активатор вулканизации), диэтилдитиокарбамат цинка 40% (ускоритель вулканизации), стимулятора биодеструкции 40% (древесная мука 100 мкм, кофейный жмых фракции 160 мкм, крахмал) при перемешивании. Далее латексную композицию оставляли для вызревания на сутки с целью повышения стабильности за счет перераспределения частиц

эмульгатора между компонентами. В качестве коагулянта использовался водно-спиртовой раствор хлорида кальция. Пленки, полученные с его применением, легко снимались с форм, однородны, имели меньше дефектов по сравнению с водным и летучим коагулянтом.

Для получения тонкопленочных маканых изделий был выбран метод однократного макания последовательно в коагулянт и латексную композицию. На первом этапе подготавливались формы для макания, очищались от загрязнений и высушивались. Для создания пленок использовались металлические формы, которые обеспечивали легкий сьем изделий. Далее осуществлялось плавное макание форм в коагулянт, промежуточная сушка коагулянта, а затем погружение в латексную композицию с целью формирования полимерного геля. Затем формы с латексным гелем высушивались, отмывались от водорастворимых соединений, и проводилась вулканизация для улучшения физико-механических характеристик продукта. Готовые изделия снимались с форм вручную.



Рис. 1. Внешний вид пленок на основе БНК с добавлением стимуляторов биодеструкции

Таким образом, разработана технология создания тонкопленочных маканых изделий на основе латекса БНК и бионаполнителя с потенциальной способностью к биодеструкции. Данное исследование делает шаг в сторону прекращения роста полигонов полимерных отходов, что важно ввиду нарастающей экологической проблемы. Из-за того, что рынок биоразлагаемых полимеров в России представлен слабо, его развитие может оказать положительное влияние на рост потребительской базы у производителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Переработка пластмасс: оценка рынка и перспективы / Пипия Л.К. [и др.] // Наука за рубежом. 2018. №75. 33 с.
2. *Потапова Е.В.* Проблема утилизации пластиковых отходов // Известия Байкальского гос. ун-та. Иркутск: Изд-во БГУ, 2018. № 4. С. 535-544. DOI 10.17150/2500-2759.2018.28(4).535-544
3. *Готлиб Е.М.* Пути создания биоразлагаемых полимерных материалов и их получение на основе пластифицированных диацетатов целлюлозы: монография / Е.М. Готлиб, К.В. Голованова, А.А. Селехова. Казань: КНИТУ, 2011. 132 с.
4. *Пармухина Е.Л.* Российский рынок биоразлагаемой упаковки // Экологический вестник России. М., 2011. С. 46-48

СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ АКРИЛАТАМИ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ЛАКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

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

Исследовано влияние сополимеров метилметакрилата и бутилметакрилата Degalan LP 65/12, Dianal MB 7497 и Дакрил SP 652 на свойства терmostойких лаковых покрытий на основе полиметилфенилсилоксана. Установлены соотношения акрилатов и полиметилфенилсилоксана, при которых получены покрытия с оптимальными свойствами.

Ключевые слова: полиметилфенилсилоксан, сополимеры метилметакрилата и бутилметакрилата, лаковые покрытия

PROPERTIES OF ACRYLATE-MODIFIED ORGANIC SILICON LACQUE COATINGS

A.A. Kirillov, 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

The effect of copolymers of methyl methacrylate and butyl methacrylate Degalan LP 65/12, Dianal MB 7497, and Dacryl SP 652 on the properties of heat-resistant lacquer coatings based on polymethylphenylsiloxane has been studied. The ratios of acrylates and polymethylphenylsiloxane were established, at which coatings with optimal properties were obtained.

Keywords: polymethylphenylsiloxane, copolymers of methyl methacrylate and butyl methacrylate, varnish coatings

Известно [1, 2], что лаковые покрытия на основе полисилоксанов обладают высокой стойкостью к воздействию влаги и горюче-смазочных веществ. 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 изучено влияние акрилатов на свойства лакокрасочного покрытия на основе полиметилфенилсилокса (ПМФС).

В качестве акрилатов использовались сополимеры метилметакрилата и бутилметакрилата Degalan LP 65/12, Dianal MB 7497 и Дакрил SP 652. Путём механического смешения при температуре 20°C ПМФС с

40%-ными растворами акрилатов в о-ксилоле получали лаки, для которых при температуре 20°C были определены вязкость, плотность, массовая доля нелетучих веществ и время высыхания. Установлено, что за счет увеличения в лаке содержания растворов акрилатов в о-ксилоле происходит возрастание вязкости, уменьшение плотности и времени его высыхания. Использование сополимеров метилметакрилата и бутилметакрилата с возрастающей молекулярно массой приводит к увеличению времени высыхания и сохранению плотности и массовой доли нелетучих веществ.

Отверждение лаков проводили при 20 °С на стеклянных пластинках в течение 24 часов с получением пленок толщиной 25-30 мкм. Для полученных пленок определялись прочность при растяжении, относительное удлинение и модуль упругости, которые представлены на рис. 1 в зависимости от содержания сополимеров метил- и бутилметакрилата.

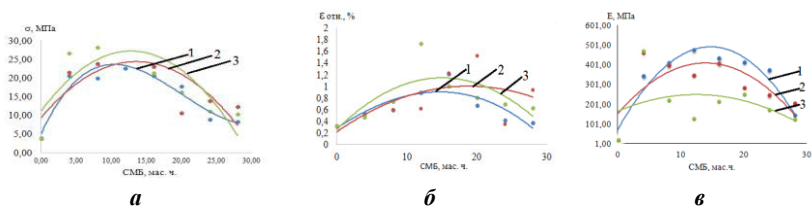


Рис. 1. Зависимости прочности при растяжении (а), относительного удлинения (б) и модуля упругости (в) лаковых покрытий от содержания сополимеров метил- и бутилметакрилата (СМБ):
 1 - Degalan LP 65/12; 2 - Dianal MB 7497; 3 - Дакрил SP 652

Как видно из рисунка, наибольшими упруго-прочностными свойствами и модулем упругости обладают лаковые покрытия, содержащие 10-20 мас.ч. сополимеров метил- и бутилметакрилата. Повышенными упруго-прочностными свойствами обладает лаковое покрытие, содержащее Дакрил SP 652.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.
2. *Gabyshcheva V.A.* Study of wear resistance of anticorrosive organosilicon coatings in various operating conditions / V.A. Gabyshcheva, K.O. Venyukov, G.I. Semenov, S.A. Batchaev // Repair. Recovery. Modernization. 2021. No. 3. P. 17-21.
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.

УДК 678.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНЫХ КАУЧУКОВ НА СВОЙСТВА РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

А.Н. Курицын, И.С. Спиридонов, Н.И. Кольцов

Научный руководитель – **Н.И. Кольцов**, д-р хим. наук, профессор

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Исследовано влияние бутадиен-стирольных каучуков различных производителей на реометрические свойства резиновой смеси.

Ключевые слова: бутадиен-стирольные каучуки, резина, реометрические свойства

STUDY OF THE INFLUENCE OF STYRENE BUTADIENE CAOUTCHOUCS ON THE PROPERTIES OF THE RUBBER COMPOUND

A.N. Kuritsyn, I.S. Spiridonov, 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 styrene-butadiene caoutchoucs of various manufacturers on the rheometric properties of a rubber mixture has been studied.

Keywords: styrene-butadiene caoutchoucs, rubber, rheometric properties

Бутадиен-стирольные каучуки наиболее распространенный тип каучуков общего назначения [1]. Широкое использование этих каучуков объясняется высокими техническими свойствами резин на их основе, пригодностью для производства шин и других резиновых изделий [2]. В настоящее время бутадиен-стирольные каучуки выпускаются российскими и иностранными производителями и обладают различными свойствами вследствие разных условий синтеза и содержания связанного стирола. В связи с этим нами исследовано влияние бутадиен-стирольных каучуков разных производителей на реометрические свойства резиновой смеси, содержащей следующие компоненты: вулканизирующий агент – сера; ускорители вулканизации – тиазол 2МБС, гуанид Ф; активаторы вулканиза-

ции – белила цинковые, стеарин; антиоксидант - нафтам; наполнители - технический углерод П 514; технический углерод П803, мел, спец.добавка ТПНБ; мягчители – канифоль, нефтеполимерная смола и другие ингредиенты. В табл. 1 приведены исследованные варианты резиновой смеси.

Таблица 1. Варианты и свойства резиновой смеси

Каучуки, мас. ч.	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
СКМС-30 АРК	75,0	-	-	-	-	-	-
ДССК-615В	-	75,0	-	-	75,0	-	-
ДССК-621В	-	-	75,0	-	-	75,0	-
ДССК-628В	-	-	-	75,0	-	-	75,0
ХБК-139	25,0	25,0	25,0	25,0	-	-	-
ББК-232	-	-	-	-	25,0	25,0	25,0
Реометрические свойства резиновой смеси							
Показатели	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
S_{max} , дН·м	8,19	11,33	9,66	9,58	10,30	8,43	9,20
S_{min} , дН·м	1,13	2,09	1,60	1,58	1,87	1,44	1,71
t_s , мин	6,95	4,60	5,03	5,04	4,54	5,13	4,54
t_{90} , мин	20,90	14,41	17,46	17,65	15,64	19,58	18,82
Примечание: S_{max} и S_{min} – максимальный и минимальный крутящие моменты; t_s и t_{90} – времена начала и оптимума вулканизации.							

Кривые вулканизации резиновой смеси, снятые на реометре MDR 3000 Basic при 150 °С в течение 30 минут, приведены на рис. 1.

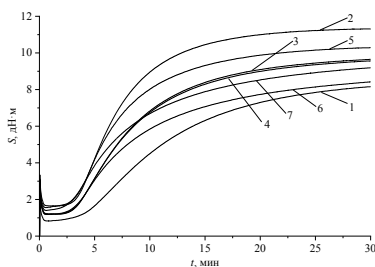


Рис. 1. Кривые вулканизации резиновой смеси (номера кривых соответствуют номерам вариантов)

Реометрические показатели, определенные на основе рисунка, представлены в таблице. Из них следует, что использование дивинилстирольных каучуков ДССК-615, ДССК-621 и ДССК-628 приводит к улучшению реометрических свойств. Варианты на основе каучука ХБК-139 имеют наибольшие значения максимального и минимального крутящих моментов по сравнению с резиновой смесью с использованием каучуков ББК-232 и СКМС-30 АРК. Степень химического сшивания резиновой смеси пропорциональна разности максимального и минимального её крутящих моментов. Эта разность достигает наибольшие значения для второго и пятого вариантов резиновой смеси, что позволяет сделать заключение о том, что вулканизаты этих вариантов резиновой смеси обладают более высокими физико-механическими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кошелев Ф.Ф.* Общая технология резины / Ф.Ф. Кошелев, А.Е. Корнев, А.М. Буканов. М.: Химия, 1978. 528 с.
2. Справочник резинщика. Материалы резинового производства / редкол.: П.И. Захарченко, Ф.И. Ящунская, В.Ф. Евстратов, П.Н. Орловский. М.: Химия, 1971. 606 с.

**ВАЛИДАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ ПО К. ФИШЕРУ В СУБСТАНЦИИ
С ПРОТИВОВИРУСНЫМ ДЕЙСТВИЕМ
ПО ОТНОШЕНИЮ К ГРИППУ А, В И SARS-CoV-2**

Е.А. Максимова, Н.В. Красникова

Научный руководитель - **Н.В. Красникова**, канд. хим. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

*При оценке трех показателей прецизионности (сходимость, внутривлабораторная повторяемость и воспроизводимость) продемонстрирована пригодность методики определения содержания воды по К. Фишеру в активной фармацевтической субстанции с противовирусным действием для выбранных условий (оборудование, реагенты, растворители, масса навески). Этот вывод сделан на основании соответствия экспериментальных значений относительного стандартного отклонения, критерия Фишера и *t*-критерия Стьюдента для полученных выборок данных необходимым требованиям.*

Ключевые слова: активная фармацевтическая субстанция, валидация аналитической методики, метод К. Фишера, прецизионность

**VALIDATION OF THE ANALYTICAL METHOD
FOR THE DETERMINATION OF WATER ACCORDING
TO K. FISHER IN A SUBSTANCE WITH ANTIVIRAL ACTION
AGAINST INFLUENZA A, B AND SARS-CoV-2**

E.A. Maksimova, N.V. Krasnikova

Scientific Supervisor - **N.V. Krasnikova**, Candidate of Chemical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

When evaluating three indicators of precision (convergence, intralaboratory repeatability and reproducibility), was demonstrated the suitability of the method for determining the water content according to K. Fischer in an active pharmaceutical substance with antiviral activity for the selected conditions (equipment, reagents, solvents, sample weight). This conclusion was made on the basis of the compliance of the

experimental values of the relative standard deviation, Fisher's test and Student's t-test for the obtained data samples with the necessary requirements.

Keywords: *active pharmaceutical substance, validation of analytical methodology, K. Fischer method, precision*

Создание валидированных методик контроля качества АФС является в современных условиях неотъемлемой частью разрабатываемой технологии производства активной фармацевтической субстанции (АФС).

Проведены исследования качества АФС противовирусного действия, обладающего противовирусной активностью против лабораторных штаммов вирусов гриппа А и В и ингибирующего вирус SARS-CoV-2, вызывающий новую коронавирусную инфекцию (COVID-19).

При валидации аналитической методики по показателю «определение воды методом К. Фишера» необходимо было провести оценку по прецизионности (сходимость и внутрилабораторная прецизионность).

Прецизионность аналитической методики выражает степень близости (или степень разброса) результатов для серии измерений, выполненных по данной методике на различных пробах одного и того же однородного образца в предусмотренных условиях. Прецизионность имеет три экстремальных показателя - сходимость, внутрилабораторная повторяемость и воспроизводимость [1, с. 25].

Сходимость выражает аналитическую вариабельность методики в одних и тех же условиях в течение небольшого промежутка времени [1, с. 25].

Внутрилабораторная прецизионность валидируемой методики оценивается в условиях работы одной лаборатории (разные дни, разные исполнители, разное оборудование и т.д.) [2].

Критерии приемлемости для оценки прецизионности:

- относительное стандартное отклонение (RSD) результата определения воды, выполненного в разные дни, не должно превышать 5,0%;
- различие между дисперсиями двух выборок не должно быть статистически значимым (проверка по критерию Фишера);
- различие между средними двух выборок не должно быть статистически значимым (проверка по критерию Стьюдента).

В ходе работы использовались следующие реактивы и оборудование: автоматический волюмометрический титратор KF-V20S, Mettler Toledo; весы аналитические CE224-C ООО «Сартогосм»; растворитель Hydranal-Solvent, Fluka; титрант HydranalTitrant 5, Fluka.

Содержание воды в испытуемом образце субстанции противовирусного действия определяли на волюмометрическом титраторе KF-V20S. Для этого в титратор добавляли точную навеску субстанции в ко-

личестве 0,2 г. Титрование проводили шесть раз в разные дни с разницей в один день. Результаты титрования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты титрования активной фармацевтической субстанции противовирусного действия

Испытуемый раствор №	Найденное содержание воды (X), %	
	День 1	День 2
1	0,032	0,032
2	0,032	0,033
3	0,033	0,031
4	0,031	0,032
5	0,031	0,032
6	0,032	0,033

Среднее значение степени извлечения \bar{X} нашли по формуле

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{n} (X_1 + \dots + X_n), \quad (1)$$

где X_i – среднее значение степени извлечения в каждом опыте, %; n – объем выборки. Среднее значение степени извлечения (\bar{X} , %) составило 0,0318 и 0,0322% соответственно и находится в пределах установленной нормы (не более 0,1%).

Стандартное отклонение RS составило 0,0007 и 0,0007 соответственно. Относительное стандартное отклонение RSD составило 2,36 и 2,34% соответственно. Квадрат дисперсии s_1^2 составил 0,00000057 и 0,00000056 соответственно. Таким образом $s_1^2 > s_2^2$.

Вычисленное значение критерия Фишера ($F_{экс.} = 1,02$) сравнили с табличным значением ($F_{табл.}(P=95; f_1=5; f_2=5)=5,05$). Следовательно, выполняется неравенство: $F_{экс.} \leq F_{табл.}(P, f_1, f_2)$. Таким образом различие дисперсий не может быть признано значимым.

Рассчитала t -критерий Стьюдента по формуле

$$t_{экс.} = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{s_i}. \quad (2)$$

Вычисленное значение t -критерия Стьюдента ($t_{экс.} = 0,44$ сравнили с табличным значением ($t_{табл.}(P=95; f=10)=2,23$), следовательно, выполняется неравенство: $t_{экс.} < t_{табл.}(P, f)$, следовательно, разница между средними двух выборок статистически незначима.

Полученные результаты оценки сходимости и прецизионности представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты оценки сходимости и прецизионности

Показатели	День 1	День 2
\bar{X} , %	0,0318	0,0322
RS	0,0007	0,0007
RSD , %	2,36	2,34
s^2	0,00000057	0,00000056
$F_{табл.}(P = 95; f_1 = 5; f_2 = 5)$	5,05	
$F_{эсп.}$	1,02	
$t_{табл.}(P = 95; f = 10)$	2,23	
$t_{эсп.}$	0,44	

Таким образом относительное стандартное отклонение (RSD) результата определения воды, выполненного в разные дни, не превышает 5,0%. Значение $F_{эсп.}$ меньше $F_{табл.}$, следовательно, различие дисперсий статистически незначимо. Значение $t_{эсп.}$ меньше $t_{табл.}$, следовательно, разница между средними двух выборок статистически незначима. На основании полученных данных подтверждена пригодность использования методики определения содержания воды по К. Фишеру в активной фармацевтической субстанции с противовирусным действием по отношению к гриппу А, В и SARS-CoV-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эрмер Й. Валидация методик в фармацевтическом анализе. Примеры наилучших практик: пер. с англ. / Й. Эрмер, Д.Х. Мак, Б. Миллер. М: Группа компаний ВИАЛЕК, 2013. 512 с.
2. XIV Государственная фармакопея РФ. Т. 1. М.: Научный центр экспертизы средств медицинского применения, 2018. С. 286.

УДК 54.057

СИНТЕЗ ПЕПТИДНЫХ ГЕЛАТОРОВ С ФРАГМЕНТОМ АДАМАНТАНА КАК ОСНОВЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ С ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УЛЬТРАВЫСОКОЙ АДСОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

К.Ю. Орлова, К.С. Кузьмичёв, В.А. Ляпунов, Н.В. Красникова

Научный руководитель – **Н.В. Красникова**, канд. хим. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Синтезировано несколько дипептидов и трипептидов с N-терминальным фрагментом адамантана, содержащих остатки алифатических и/или ароматических аминокислот. На основании данных спектроскопии ^1H ЯМР сделано предположение, что эти соединения представляют собой индивидуальные диастереомеры. Полученные соединения представляют интерес в качестве гелаторов для образования супрамолекулярных гидрогелей с потенциальной ультравысокой адсорбционной способностью.

***Ключевые слова:** пептидный гелатор, супрамолекулярный гидрогель, трипептид, дипептид*

SYNTHESIS OF PEPTIDE GELATORS WITH ADAMANTANE MOIETY FOR SUPRAMOLECULAR HYDROGELS WITH POTENTIAL ULTRA-HIGH ADSORPTION CAPACITY

K.Yu. Orlova, K.S. Kuzmichev, N.V. Krasnikova

Saintific Supervisor - **N.V. Krasnikova**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Several dipeptides and tripeptides containing the N-terminal adamantane moiety and aliphatic and/or aromatic amino acid residue have been synthesized. Based on the ^1H NMR spectroscopy data, it is assumed that these compounds are individual diastereomers. The obtained compounds are of interest as gelators for the formation of supramolecular hydrogels with potential ultra-high adsorption capacity.

***Keywords:** peptide gelator, supramolecular hydrogel, tripeptide, dipeptide*

Природные и синтетические пептиды, а также пептидомиметики могут образовывать стабильные конструкции со склонностью к молекулярной самосборке, которые приобрели огромное значение в таких областях, как инновационные биоматериалы, нанотехнологии, медицина, биотехнологии и другие [1]. Примерами здесь также могут служить многие биологические процессы, протекающие с образованием супрамолекулярных структур, содержащих белки, нуклеиновые кислоты, фосфолипиды, вирусные капсиды и т.д.

Среди систем со способностью к самосборке в последнее время особенное внимание исследователей привлекли супрамолекулярные гидрогели на основе низкомолекулярных гелаторов [2]. Спектр их применения, в частности, включает системы с контролируемым высвобождением лекарственных средств, 2D- или 3D-субстраты клеточных культур и тканевую инженерию, нанокластерный синтез и катализ и т.д. Кроме того, пептидные гелаторы представляют собой особенно полезные кандидаты для изучения самосборки и гелеобразования, поскольку эти молекулы являются биосовместимыми и биоразлагаемыми в окружающей среде [3], а также могут иметь широкий диапазон потенциальных свойств за счет контроля аминокислотной последовательности в своей структуре. Как было показано, для гидрогелей на основе амфифильных пептидных гелаторов с высокой гидрофобностью за счет N-терминальной группы и присутствия алифатических и ароматических α -аминокислот в структуре самосборка часто приводит к одновременному самопроизвольному синерезису воды [2]. Результатом является образование продукта с волокнистой сетчатой структурой и большим размером площади поверхности в гелевой матрице, которая очень эффективно улавливает частицы различной природы из раствора. Так, гидрогель на основе трифенилаланина, модифицированного остатком миристиновой кислоты (n -C₁₃H₂₇COOH), в качестве гелатора характеризуется наибольшим из опубликованных в литературе значением адсорбционной способности по отношению к ионам свинца 1995 мг/(г гелатора) и органических красителей [2].

С целью исследования взаимосвязи структуры низкомолекулярных пептидных гелаторов с их способностью к гелеобразованию с последующим синерезисом мы синтезировали несколько ди- и трипептидных производных, содержащих в N-терминальной группе гидрофобный фрагмент адамантана и алифатические и/или ароматические аминокислоты в цепи (рис. 1). Выбор фрагмента адамантана для гидрофобной модификации обусловлен тем, что амфифильные производные адамантана имеют высокую способность к супрамолекулярной самосборке [4].

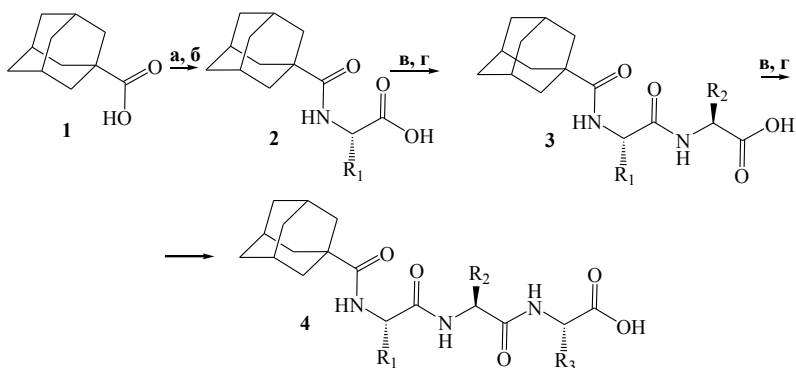


Рис. 1. Схема синтеза пептидных гелаторов с фрагментом адамантана.

Реагенты и условия: **(а)** SOCl₂, ДМФА;
(б) NH₂-CHR₁-COOH, NaOH, H₂O, ТГФ, 5-10 °С;
(в) КДИ, NH₂-CHR₂-COOCH₃ или NH₂-CHR₃-COOCH₃, ТГФ, 60-66 °С;
(г) NaOH, (CH₃)₂CO, H₂O.

R₁, R₂, R₃ – алифатические и/или ароматические радикалы

На первой стадии из 1-адамантанкарбоновой кислоты (**1**) был синтезирован соответствующий хлорангидрид (условия **а**, рис. 1), который затем при взаимодействии с L-аминокислотами в водно-органической смеси в присутствии основания в соответствии с разработанной ранее методикой [5] был конвертирован в аминокислотные производные общей формулы **2** с выходами 80-85% (условия **б**). На дальнейших стадиях для синтеза дипептидных производных **3** и трипептидных производных **4** был использован известный метод образования амидной связи на основе N,N-карбонилдиимидазола (КДИ, условия **в**) с промежуточным и конечным снятием сложноэфирной защиты (условия **г**). Условия проведения этих реакций, методы выделения и очистки продуктов были адаптированы нами ранее для аналогичных дипептидных соединений, полученных из аминокислотных производных 4-(1-адамантил)бензойной кислоты [6]. Выходы дипептидов **3** составили 71-78%, а трипептидов **4** 59-65%. Структуры полученных соединений были однозначно подтверждены с помощью ИК- и ¹H ЯМР-спектроскопии, а их однородность контролировалась методом тонкослойной хроматографии. В спектрах ¹H ЯМР продуктов формул **3** и **4** не наблюдалось образование нескольких групп сигналов характеристических протонов, что позволяет предположить, что данные соединения представляют собой индивидуальные диастереомеры.

На следующем этапе планируются исследования гелеобразования на основе полученных пептидных гелаторов, условий синерезиса гидрогелей, а также адсорбционной способности этих материалов по отноше-

нию к ионам тяжелых металлов как поллютантов и микроорганизмам. Об этих результатах будет сообщено в последующих публикациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ultrashort Peptides – A Glimpse into the Structural Modifications and Their Applications as Biomaterials / R. Das, B. Gayakvad, S. Dattatray Shinde, J. Rani, A. Jain, B. Sahu // *ACS Appl. Bio Mater.* 2020. Vol. 3, iss. 9. P. 5474-5499.
2. *Basak S.A* Tripeptide-based Self-Shrinking Hydrogel for Waste-Water Treatment: Removal of Toxic Organic Dyes and Lead (Pb^{2+}) Ions / S. Basak, N. Nandi, S. Paul, I. Hamley, A. Banerjee // *Chem. Commun.* 2017. Vol. 53, iss. 43. P. 5910-5913.
4. Mixing Biomimetic Heterodimers of Nucleopeptides to Generate Biocompatible and Biostable Supramolecular Hydrogels / D. Yuan, X. Du, J. Shi, N. Zhou, J. Zhou, B. Xu // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2015. Vol. 54, iss. 19. P. 5705-5708.
5. Self-assembly of supra-amphiphiles building block fabricated by β -cyclodextrin and adamantane-based ionic liquid / X. Zhong, C. Hu, X. Yan, D. Zhu, Q. Chen, W. Li, L. Feng, Y. Weib // *RSC Adv.* 2019. Vol. 9, iss. 30. P. 17281-17290.
6. *Krasnikov S.V.* 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, iss. 4. P. 711-714.
7. 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. № 2. С. 60-68. URL:

УДК 678.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Т.А. Саракеева, 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 базальтовых волокон на реометрические свойства резиновой смеси на основе каучуков общего и специального назначения.

Ключевые слова: базальтовые волокна, каучуки общего и специального назначения, резина, реометрические свойства.

STUDY OF THE INFLUENCE OF BASALT FIBERS ON RHEOMETRIC PROPERTIES OF RUBBER BASED ON GENERAL AND SPECIAL PURPOSE CAOUTCHOUCS

T.A. Sarakeeva, 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 basalt fibers on the geometric properties of a rubber mixture based on general and special purpose rubbers is investigated.

Keywords: basalt fibers, general and special purpose caoutchoucs, rubber, geometric properties.

При изготовлении резиновых изделий применяются различные компоненты (ингредиенты), которые необходимы как для осуществления химических превращений каучуков в процессах их переработки, так и для придания резиновым изделиям определенных свойств. Введение волокнистых наполнителей в резиновые смеси позволяет повысить прочностные показатели резин, их динамический модуль, сопротивление порезам и проколам, износостойкость, стойкость к действию агрессивных сред, снизить гистерезисные потери и др. [1, 2]. В связи с этим целью данной работы являлось исследование влияния базальтовых волокон на

реометрические свойства резиновой смеси на основе каучуков общего и специального назначения. В состав исследованной резиновой смеси в определенных количествах входили бутадиен-метилстирольный СКМС-30АРК, бутадиен-нитрильный СКН-2655 и *цис*-изопреновый СКИ-3 каучуки, а также следующие ингредиенты: ускоритель вулканизации – сульфенамид Ц; вулканизирующие агенты – сера, тиурам Д и N,N'-дитиодиморфолин; активаторы вулканизации – цинковые белила, стеариновая кислота; стабилизаторы – ацетонанил Н, воск защитный ЗВ-П, диафен ФП; наполнители – каолин, технические углероды N 220 и П514, диоксид кремния Zeosil 1165 МР; диспергатор – гепсол ХКП и другие ингредиенты. Резиновая смесь изготавливалась путём смешения каучуков и ингредиентов на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. В табл. 1 приведены варианты резиновой смеси, содержащие базальтовые волокна в количестве от 3,0 до 12,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучуков.

Таблица 1. Варианты и свойства резиновой смеси

Ингредиенты	Варианты				
	1	2	3	4	5
Базальтовое волокно, мас. ч.	-	3,0	6,0	9,0	12,0
Реометрические показатели резиновой смеси					
S_{max} , дН·м	19,36	19,49	20,09	19,82	20,34
S_{min} , дН·м	3,57	3,41	3,69	3,76	3,82
ΔS , дН·м	15,79	16,08	16,40	16,06	16,52
t_s , мин	6,68	6,50	6,33	6,70	6,66
t_{90} , мин	18,06	18,53	17,59	18,09	17,65
<i>Примечание:</i> S_{max} и S_{min} – максимальный и минимальный крутящие моменты; и t_{90} – времена начала и оптимума вулканизации; ΔS - разность максимального и минимального крутящих моментов.					

Реометрические показатели резиновой смеси исследовали на реометре MDR 3000 Basic при 150 °С в течение 30 мин. На рис. 1 приведены кривые вулканизации, на основе которых были определены реометрические показатели резиновой смеси (таблица 1). Из данных таблицы следует, что при введении базальтовых волокон в состав резиновой смеси величины минимального и максимального крутящих моментов, а также их разности увеличиваются. Изменение времен начала вулканизации и оптимума вулканизации резиновой смеси при возрастании в ней содержания базальтового волокна практически не происходит.

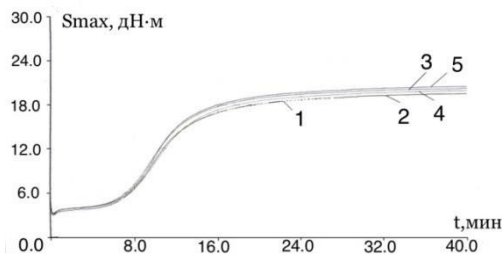


Рис. 1. Кривые вулканизации резиновой смеси (номера кривых соответствуют номерам вариантов)

Согласно [3], показатель разности максимального и минимального крутящих моментов прямо пропорционален степени химической сшивки вулканизата. Следовательно, вулканизат пятого варианта должен обладать наибольшей степенью сшивки, и, как следствие, большими прочностными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щеголева Н.Е. Композиционные материалы, армированные волокнистыми наполнителями / Н.Е. Щеголева, Д.В. Гращенков, М.Л. Ваганова, С.С. Солнцев // Перспективные материалы. 2014. №8. С. 22-30.
2. Влияние волокнистых наполнителей на свойства шинных эластомерных композиций / А.Ю. Люштык, С.Н. Каюшников, Е.Ю. Ипонова, М.С. Чилек, С.С. Песецкий, В.Н. Адериха, Ж.С. Шашок, Е.П. Усс // Труды БГТУ. Сер. 2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2021. № 1 (241). С. 95-100.
3. Соловьева О.Ю. Влияние нефтешлама на свойства резиновых смесей и резин на основе бутадиен-стирольного каучука / О.Ю. Соловьева, Н.Л. Гурылёва, С.Д. Тимрот, Т.А. Коротаева // Изв. вузов. Химия и хим. технол. 2012. Т. 55, № 9. С. 77-80.

УДК 678.7

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО И ГАЛОИДНЫХ КАУЧУКОВ

А.Е. Семёнов, И.С. Спиридонов, Н.И. Кольцов

Научный руководитель – **Н.И. Кольцов**, д-р хим. наук,
профессор

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Исследованы реометрические и физико-механические свойства резины на основе комбинации бутадиен-нитрильного и галоидных каучуков.

Ключевые слова: бутадиен-нитрильный каучук, бромбутилкаучук, хлорбутилкаучук, резиновая смесь, реометрические и физико-механические свойства

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF RUBBER BASED ON A COMBINATION OF NITRILE BUTADIENE AND HALIDE CAOUTCHOUCS

A.E. Semyonov, I.S. Spiridonov, N.I. Kol'tsov

Scientific Supervisor – **N.I. Kol'tsov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov

Rheometric and physico-mechanical properties of rubber based on a combination of nitrile butadiene and halide caoutchoucs have been studied.

Keywords: nitrile-Butadiene caoutchouc, chlorobutyl caoutchouc, brombutyl caoutchouc, rubber mixture, rheometric and physical-mechanical properties

Бутадиен-нитрильные каучуки (БНК) – основной вид сырья для производства различных типов резин. Их получают путем сополимеризации бутадиена с акрилонитрилом (НАК) [1]. Галоидные каучуки – это продукты взаимодействия бутилкаучука с галогенами (хлором или бромом) [2]. В промышленности распространены резинотехнические изделия, изготовленные на основе БНК и их комбинаций с каучуками общего

назначения. Представляет интерес разработка резин на основе БНК и галоидных каучуков. В данной работе исследовались свойства резины на основе бутадиен-нитрильного СКН-4045 и галоидных (ХБК-139, ББК-232) каучуков и их комбинаций. В исследуемую резиновую смесь входили перечисленные каучуки, а также следующие ингредиенты: вулканизующий агент – сера; ускорители вулканизации – тиазол 2МБС, гуанид Ф; активаторы вулканизации – белила цинковые, стеарин; антиоксидант – нафтам; наполнители – технический углерод П514, технический углерод П803, мел, спец.добавка ТПНБ; мягчители – канифоль и др. Резиновая смесь изготавливалась путём смешения каучуков и ингредиентов на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. В табл. 1 приведены варианты исследованной резиновой смеси, содержащие бутадиен-нитрильный каучук, хлорбутилкаучук и бромбутилкаучук в различных соотношениях.

Таблица 1. Варианты резиновой смеси

Ингредиенты, мас.ч	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
ХБК-139	25,0	-	-	20,0	-	100,0	-
ББК-232	-	25,0	20,0	-	-	-	100,0
СКН-4045	75,0	75,0	80,0	80,0	100,0	-	-

Эффективность использования комбинации СКН-4045 с ХБК-139 и ББК-232 для каждого варианта резиновой смеси оценивалась по реометрическим свойствам, а также физико-механическим показателям вулканизатов.

Реометрические показатели резиновой смеси исследовали на реометре MDR 3000 Basic при 150°C в течение 30 мин. На рис. 1 и в табл. 2 приведены вулканизационные кривые и рассчитанные на их основе реометрические показатели резиновых смесей.

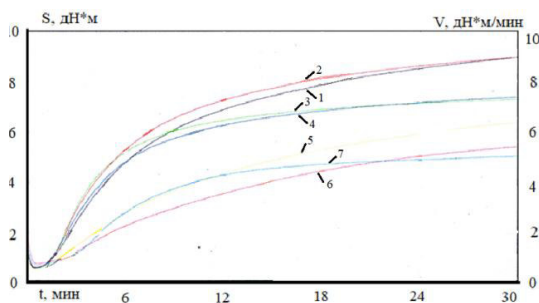


Рис. 1. Кривые вулканизации резиновой смеси (номера кривых соответствуют номерам вариантов)

Таблица 2. Реометрические показатели резиновой смеси при 150 °С

Показатели	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
S_{max} , дН·м	9,00	8,99	7,32	7,42	6,37	5,43	5,05
S_{min} , дН·м	0,83	0,87	0,79	0,85	0,70	1,01	0,94
t_s , мин	3,15	2,76	2,67	2,98	5,37	8,09	5,78
t_{90} , мин	20,04	18,11	13,89	16,49	22,39	22,94	15,64
<i>Примечание:</i> S_{max} и S_{min} – максимальный и минимальный крутящие моменты; t_s и t_{90} – времена начала и оптимума вулканизации							

Из полученных данных следует, что использование комбинации СКН-4045 с ХБК-139 или ББК-232 улучшают реометрические свойства резиновой смеси. Причем, при соотношении СКН-4045:ХБК-139 (ББК-232) = 75:25 резиновая смесь обладает наибольшим максимальным крутящим моментом и его разностью с минимальным крутящим моментом.

Резиновые смеси были свулканизованы в режиме 150 °С в течение 30 минут с последующим определением физико-механических показателей вулканизатов, которые представлены в табл. 3.

Таблица 3. Физико-механические свойства вулканизатов

Показатели	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
f_p , МПа	5.5	5.3	3,2	3.5	3,6	4,4	3,6
ϵ_p , %	510	510	390	420	490	490	520
H , ед. Шор А	60	63	57	55	51	57	49
B , кН/м	28	30	18	16	24	22	22
<i>Примечание:</i> f_p – условная прочность при растяжении; ϵ_p – относительное удлинение при разрыве; H – твердость по Шору А; B – сопротивление раздиру.							

Из данных табл. 3 следует, что вулканизаты вариантов 1 и 2 имеют лучшие показатели условной прочности при растяжении, сопротивления раздиру и твердости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник резинщика. Материалы резинового производства / редкол.: П.И. Захарченко, Ф.И. Ящунская, В.Ф. Евстратов, П.Н. Орловский. М.: Химия, 1971. 606 с.
2. Большой справочник резинщика. Ч.1-2. Каучуки и ингредиенты / под ред. С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозова. М.: ООО «Изд. Центр «Техинформ» МАИ», 2012. 1400 с.

УДК 678.7

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.Н. Чамеева, Е.Н. Егоров, Н.И. Кольцов

Научный руководитель – **Н.И. Кольцов**, д-р хим. наук, профессор

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова

Исследовано влияние дисперсных наполнителей (диатомитов NDP-D-400 и NDP-230, микрокварца и гидросиликата магния) на физико-механические свойства резины на основе каучуков общего и специального назначения.

***Ключевые слова:** дисперсные наполнители, резина, физико-механические свойства*

INFLUENCE OF DISPERSIVE FILLERS ON THE PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF THE RUBBER BASED ON RUBBERS FOR GENERAL AND SPECIAL PURPOSE

A.N. Chameeva, 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 effect of dispersed fillers (NDP-D-400 and NDP-230 diatomites, micro-quartz and magnesium hydrosilicate) on the physical-mechanical properties of rubber based on caoutchoucs for general and special purposes has been studied.

***Keywords:** dispersed fillers, rubber, physical-mechanical properties*

Наполнители являются компонентами резиновых смесей, которые позволяют регулировать физико-механические свойства резины [1-3]. В связи с этим нами исследовано влияние дисперсных наполнителей на физико-механические показатели резины, полученной на основе бутадиен-метилстирольного СКМС-30 АРК, бутадиен-нитрильного СКН-2655 и *цис*-изопренового СКИ-3 каучуков, а также следующих ингредиентов: вулканизирующих агентов – сера, N,N'-дитиодиморфолин, тиурам Д; ускорителя вулканизации – сульфенамид Ц; активаторов вулканизации – белила цинковые, стеариновая кислота; наполнителей – технические углероды П 514 и N 220, каолин; мягчителей – канифоль, масло индустриаль-

ное И-12А и др. Резиновая смесь изготавливалась путем смешения каучуков с ингредиентами на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. Первый вариант резиновой смеси в качестве наполнителей содержал технические углероды П 514, N 220 и каолин. Во втором – пятом вариантах резиновой смеси производилась равномассовая замена каолина на диатомиты NDP-D-400 и NDP-230, микрокварц и гидросиликат магния в соответствующих количествах.

Для определения физико-механических свойств резиновую смесь подвергали вулканизации при температуре 143 °С в течение 20 мин. Физико-механические свойства вулканизатов определили согласно действующим в резиновой промышленности стандартам. Результаты исследований физико-механических характеристик полученных вулканизатов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-механические свойства вулканизатов

Показатель	Варианты резиновой смеси				
	1	2	3	4	5
f_{100} , МПа	3,6	3,8	4,1	3,9	3,8
f_p , МПа	12,8	14,4	14,8	14,4	13,1
ϵ_p , %	350	400	380	370	400
H , ед. Шор А	70	70	70	68	70
<i>Примечание: f_{100} – условное напряжение при 100%-ном растяжении; f_p – условная прочность при растяжении; ϵ_p – относительное удлинение при разрыве; H – твердость.</i>					

Из данных таблицы видно, что равномассовая замена каолина на дисперсные наполнители способствует увеличению условного напряжения при 100%-ном растяжении, условной прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и сопротивления раздиру вулканизатов. Наибольшими упруго-прочностными показателями и сопротивлением раздиру характеризуется вулканизат третьего варианта резиновой смеси, содержащий диатомит NDP-230.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шашок Ж.С.* Основы рецептуростроения эластомерных композиций: учеб.- метод. пособие / Ж.С. Шашок, А.В. Касперович, Е.П. Усс. Минск: БГТУ, 2013. 98 с.
2. Исследование влияния шунгита на технологические и эксплуатационные свойства протекторных резин / В.Ф. Каблов, О.М. Новопольцева, Е.Ю. Мартынова, Д.А. Крюкова, О.В. Тиркашева // Известия Волгоград. гос. техн. ун-та. 2019. № 5 (228). С. 59-62.
3. Исследование влияния дисперсности минерала шунгита на комплекс свойств эластомерных материалов на основе бутадиен-стирольного каучука / Ю.В. Корнев, Ю.Г. Яновский, О.В. Бойко, Н.А. Семенова, С.В. Чиркунова // Каучук и резина. 2012. № 5. С. 17-22.

УДК 678.7

**ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОСФЕР
НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ
НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ ОБЩЕГО И СПЕЦИАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

М.А. Чернова, 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 полимерных микросфер различных марок на реометрические свойства резиновой смеси на основе каучуков общего и специального назначения.

***Ключевые слова:** полимерные микросферы, резина, реометрические свойства*

**INFLUENCE OF POLYMER MICROSPHERES
ON THE RHEOMETRIC PROPERTIES OF THE RUBBER
MIXTURE BASED ON CAOUTCHOUCS FOR GENERAL
AND SPECIAL PURPOSE**

M.A. Chernova, 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. Ulyanova

The influence of polymeric microspheres of various grades on the rheometric properties of a rubber compound based on rubbers for general and special purposes has been studied.

***Keywords:** polymeric microspheres, rubber mixture, rheometric properties*

Для изменения свойств полимерных материалов используются различные методы их модификации: пластикация, введение наполнителей, стабилизаторов и технологических добавок. Наиболее эффективным способом модификации является введение наполнителей. Использование модификаторов дает возможность регулировать структуру и свойства полимерных композитов [1]. Одними из таких наполнителей являются

микросферы, которые позволяют регулировать технологические (реометрические) свойства резиновой смеси [2-4]. В связи с этим нами исследовано влияние полимерных микросфер различных марок на реометрические свойства резиновой смеси на основе каучуков общего и специального назначения. Изучаемая резиновая смесь включала следующие каучуки и ингредиенты: *цис*-изопреновый СКИ-3 и бутадиен-нитрильный СКН-4045 каучуки, вулканизирующий агент – серу; ускорители вулканизации – тиурам Д и тиазол 2МБС; активаторы вулканизации – цинковые белила, стеарин; наполнители – технические углероды N 220 и Т 900 и др. Резиновая смесь изготавливалась путем смешения каучуков и ингредиентов на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. В табл. 1 приведены варианты исследованной резиновой смеси, содержащие различные микросферы в количестве 5,00 мас. ч. на 100,00 мас. ч. каучуков.

Таблица 1. Варианты и свойства резиновой смеси

Ингредиенты, свойства	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
Exrapancel 909 DU 80, мас. ч.	-	5,00	-	-	-	-	-
Exrapancel 043 DUT 80, мас. ч.	-	-	5,00	-	-	-	-
Exrapancel 920 DET 40d25, мас.ч.	-	-	-	5,00	-	-	-
Exrapancel 920 DUT 40, мас. ч	-	-	-	-	5,00	-	-
Lega Foam 120 MB, мас. ч.	-	-	-	-	-	5,00	-
Exrapancel 930 MB 120, мас. ч.	-	-	-	-	-	-	5,00
Реометрические свойства резиновой смеси							
S_{max} , дН·м	21,49	20,92	21,39	19,94	20,81	21,28	20,42
S_{min} , дН·м	1,06	1,14	1,13	1,11	1,14	1,11	1,12
ΔS , дН·м	20,43	19,78	20,26	18,83	19,67	20,17	19,30
t_s , мин	2,03	2,10	2,20	2,07	2,13	2,16	2,13
t_{90} , мин	6,92	6,04	6,60	6,60	6,30	7,43	6,43
<i>Примечание:</i> S_{max} и S_{min} – максимальный и минимальный крутящие моменты; ΔS – разность максимального и минимального крутящих моментов; t_s и t_{90} – времена начала и оптимума вулканизации.							

Реометрические свойства резиновой смеси исследовались на реометре MDR 3000 Basic путем снятия кривых вулканизации при 150 °С в течение 30 мин. На рис. 1 приведены полученные кривые.

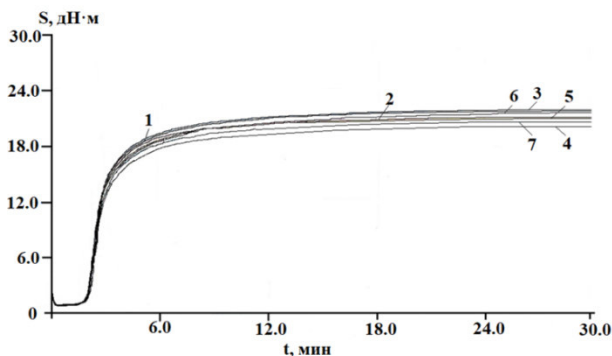


Рис. 1. Кривые вулканизации резиновой смеси (номера кривых соответствуют номерам вариантов)

Реометрические показатели, определенные на основе рисунка, приведены в таблице. Из данных таблицы следует, что введение полимерных микрофлеров в состав резиновой смеси приводит к уменьшению максимального крутящего момента, увеличению минимального крутящего момента и времени начала вулканизации. Степень химического сшивания резиновой смеси пропорциональна разности максимального и минимального её крутящих моментов. Эта разность достигает наибольшего значения для третьего варианта резиновой смеси, содержащей полимерные микрофлеры Exrapcel 043 DUT 80. Следовательно, данный вулканизат должен обладать большими прочностными показателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кахраманов Н.Т.* Износостойкие полимерные материалы. Структура и свойства / Н.Т. Кахраманов, Г.Ш. Касумова, В.С. Осипчик, Р.Ш. Гаджиева // Пластические массы. 2017. №11-12. С. 8-15.
2. *Кириллова Н.А.* Влияние микрофлеров на свойства резины на основе бутадиен-нитрильного каучука / Н.А. Кириллова, Н.А. Семенова, Н.И. Кольцов // Сб. трудов Всерос. научн. конф. «Актуальные проблемы науки о полимерах-2018». Казань: КНИТУ, 2018. С. 67.
3. *Ушмарин Н.Ф.* Исследование влияния полимерных микрофлеров на свойства резины для гуммирования металлических поверхностей / Н.Ф. Ушмарин, Е.Н. Егоров, С.И. Сандалов, Н.И. Кольцов // Российский химический журнал. 2022. Т. 66, № 4. С. 19-25.
4. *Ушмарин Н.Ф.* Влияние микрофлеров на свойства агрессивностойких резин / Н.Ф. Ушмарин, Е.Н. Егоров, Н.И. Кольцов // Изв. вузов. Серия: Химия и хим. технология. 2021. Т.64, № 2. С.49-55.

УДК 615.014.474

ПОЛИМЕРНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛЯТОВ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Б.В. Шведский, Е.Е. Рогожина, И.С. Коротнева

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

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается разработка состава нового отечественного связующего на основе водных дисперсий акриловых сополимеров, необходимого для проведения влажного гранулирования фармацевтических порошков при производстве дозированных твердых лекарственных форм.

***Ключевые слова:** фармацевтическая промышленность, твердая лекарственная форма, вспомогательные вещества, влажное гранулирование, связующие, латекс, эмульсионная сополимеризация, мономер, гранулят*

POLYMERIC BINDER FOR OBTAINING GRANULATES OF PHARMACEUTICAL POWDERS

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 paper considers the development of a new domestic binder based on aqueous dispersions of acrylic copolymers required for wet granulation of pharmaceutical powders in the production of solid dosage forms.

***Keywords:** pharmaceutical industry, solid dosage form, excipients, wet granulation, binders, latex, emulsion copolymerisation, monomer, granulate*

В настоящее время особо остро встает потребность в независимости российской фармацевтической промышленности от импорта необходимых для производства лекарственных средств компонентов. В условиях возросшего напряжения внешней социально-политической ситуации, отечественной фармацевтической промышленности приходится проходить испытание на прочность. В связи с этим разработка новых фармком-

понентов для создания различных лекарственных препаратов является актуальной задачей и направлена на импортозамещение.

Наиболее распространенной лекарственной формой являются таблетки, создаваемая путем совместного прессования лекарственных и вспомогательных веществ. Зачастую используемые на производстве порошки вспомогательных и лекарственных веществ не обладают необходимыми технологическими свойствами. Поэтому при производстве таблеток часто требуется проводить процесс гранулирования частиц с целью улучшения сжимаемости, текучести, формы частиц, прессуемости, контроля точности дозирования и предотвращения сегрегации [1].

В данной работе, при разработке нового отечественного связующего для влажного гранулирования фармпорошков при производстве твердых лекарственных форм, в качестве гранулирующей жидкости 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 путем влажного гранулирования таблеток.

Для получения латексов акриловых сополимеров применяли свободнорадикальную эмульсионную сополимеризацию в присутствии анионоактивных эмульгаторов. Данный вид сополимеризации обеспечивает относительную простоту управления синтезом сополимера и позволяет получить низковязкие латексы с высокой концентрацией.

При изучении коллоидно-химических свойств полученных водных дисперсий акриловых сополимеров по специальным методикам [2, 3], было установлено, что свойства полученных латексов практически не зависели от состава мономерной смеси в исследованном диапазоне концентраций.

Синтезированные латексы были апробированы в качестве связующих в процессе грануляции модельной таблеточной смеси, состоящей из микрокристаллической целлюлозы, лактозы, кукурузного крахмала, талька и метамизола натрия в роли активной фармацевтической субстанции. Путем протираания увлажненной таблеточной смеси через перфорированную поверхность с размером ячеек сита 1 мм были получены гранулы. После высушивания полученного гранулята до остаточной влажности 4%, с помощью ситового анализа был определен дисперсологический состав образцов гранул. В работе экспериментально установлена концентрация и количество связующего, обеспечивающие минимальный выход мелкодисперсной фракции менее 2% для наилучших технологических характеристик получаемого гранулята.

В соответствии с ОФС 1.4.2.0016.15 в работе определены технологические характеристики гранулята: насыпная плотность, угол естествен-

ного откоса, коэффициент прессуемости, сыпучесть и степень сыпучести. Было установлено, что все образцы гранулята относятся к категории легких (насыпная плотность меньше $0,6 \text{ г/см}^3$) и обладают хорошими технологическими характеристиками.

Таблица 1. Средние значения технологических характеристик полученных гранулятов

Насыпная плотность, г/см^3	Угол естественного откоса, °	Сыпучесть, г/с	Степень сыпучести	Коэф. прессуемости
0,31	46	2,5	Очень хорошая	1,3

Из полученных в работе гранулятов с помощью ручного механического пресса были спрессованы двояковыпуклые круглые таблетки без риски. Исследована прочность таблеток на раздавливание, определены средняя масса и геометрические размеры таблеток, время распадаемости таблеток в водной среде и зависимость степени высвобождения лекарственного вещества от состава связующего. В качестве среды растворения для исследования высвобождения лекарственного вещества использовались растворы, моделирующие pH желудка и кишечных отделов ЖКТ. Анализируя полученные данные, установлено, что с увеличением количества связующего в таблетках происходит увеличение их прочности, что связано с хорошей адгезией разработанного связующего, однако это не привело к замедлению распадаемости таблеток. Растворение таблеток проводилось в соответствии с ОФС 1.4.2.0014.15. Количественное определение высвободившегося из таблеток метамизола натрия производилось с помощью йодометрического титрования. При изучении зависимости времени высвобождения метамизола натрия из таблетки от состава и количества синтезированного латекса, установлено, что для каждого из видов гранулята, содержащих связующие различного состава, полное высвобождение лекарственного средства происходит в среде, имитирующей кислую среду желудка ($\text{pH} = 1,2$) через 45 минут, что соответствует требованиям ОФС 1.4.2.0014.15

Таким образом, в работе осуществлен синтез водных дисперсий акриловых сополимеров, которые могут использоваться с целью улучшения технологических свойств гранулятов при производстве твердых лекарственных форм. Установлено, что при использовании синтезированных латексов, можно получить гранулы, обладающие более высокими технологическими характеристиками и достичь лучших показателей качества производимой продукции.

СПИСОКЛИТЕРАТУРЫ

1. *Евстигнеева К.С.* Декомпозиция процесса гранулирования как метод исследования / К.С. Евстигнеева, П.П. Хренова, А.В. Маркова // Пятая всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Инновации в здоровье нации». (9 ноября 2017 г., Санкт-Петербург): сб. материалов конф. [Электронный ресурс]. СПб.: Изд-во ГБОУ ВПО СПбХФА Минздрава России, 2017. С. 155.
2. *Туров Б.С.* Методы получения и анализа синтетического каучука и пластмасс: Учебное пособие / Б.С. Туров, Н.М. Миронова, О.К. Швецов. 5-е изд., перераб. и доп. / Яросл. гос. техн. ун-т. Ярославль, 2000. 80 с.
3. *Фармацевтическая разработка: концепция и практические рекомендации. Научно-практическое руководство для фармацевтической отрасли / С.Н. Быковский [и др.].* М.: Перо, 2015. С. 196-197.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ
СЕРНО-УСКОРИТЕЛЬНОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ
РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ КАУЧУКА СКИ-3**

А.И. Иванов, С.Н. Шульмин, М.Е. Соловьев, О.Ю. Соловьева

Научный руководитель – **М.Е. Соловьев**, д-р физ.-мат. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

Оценена эффективность моделирования кинетики серно-ускорительной вулканизации ненаполненной резиновой смеси на основе каучука СКИ-3, не содержащее первичного активатора вулканизации. Согласно полученным данным предложенная математическая модель в виде системы дифференциальных уравнений, составленных в рамках формальной кинетической схемы вулканизации, дает хорошее совпадение расчетных значений концентрации сшивок с экспериментальными.

Ключевые слова: каучук, сера, ускоритель, кинетика вулканизации, действительный агент вулканизации, сшивка, математическая модель

**MODELING OF THE KINETICS OF SULFUR-
ACCELERATING VULCANIZATION OF RUBBER MIXTURES
BASED ON SKI-3 RUBBER**

A.I. Ivanov, S.N. Shulmin, M.E. Solovyev, O.Yu. Solovyeva

Scientific Supervisor – **M.E. Solovyev**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Yaroslavl State Technical University

The efficiency of modeling the kinetics of sulfur-accelerator vulcanization of an unfilled rubber mixture based on SKI-3 rubber, which does not contain a primary vulcanization activator, has been evaluated. According to the data obtained, the proposed mathematical model in the form of a system of differential equations compiled within the framework of the formal kinetic scheme of vulcanization gives a good coincidence of the calculated values of the concentration of cross-links with the experimental ones.

Keywords: rubber, sulfur, accelerator, vulcanization kinetics, actual vulcanization agent, cross-linking, mathematical model

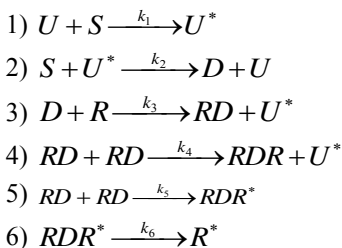
В технологическом процессе изготовления резиновых изделий одной из наиболее энергоемких стадий является вулканизация. Поэтому интенсификация вулканизации рассматривается как эффективный способ уменьшения энергозатрат на производство изделий и снижения за счет этого их себестоимости [1, с. 420; 2; 3]. Повышение температуры позволяет сократить продолжительность вулканизации вследствие ускорения процессов сшивания макромолекул каучука. Но одновременно развиваются и процессы деструкции, которые наиболее характерны для 1,4-*цис*-полиизопренов в силу особенностей их химического строения. Поэтому температуру вулканизации можно повышать лишь до определенных пределов во избежание рисков нежелательного изменения структуры каучуковой основы резиновой смеси. Эффективным способом сокращения продолжительности и снижения температуры вулканизации является использование резиновых смесей с оптимизированными вулканизационными характеристиками. Реализации такого подхода предполагает использование надежной методики оценки степени вулканизации резины, позволяющей обоснованно выбирать состав вулканизирующей группы, в том числе дозировку активатора, и температурно-временной режим проведения процесса [4].

В настоящее время приоритет отдается расчетным методам разработки режимов вулканизации, базирующимся на современных теоретических представлениях о теплопередаче и кинетике вулканизации.

В данной работе была поставлена задача смоделировать процесс вулканизации ненаполненной резиновой смеси на основе синтетического 1,4-*цис*-изопренового каучука с серной вулканизирующей группой (сера – 2,0 мас. ч., сульфенамид Ц – 1,0 мас. ч., стеарин – 1,0 мас. ч.) без оксида цинка, обычно используемого в качестве первичного активатора.

Исходными данными явились реометрические кривые, полученные на виброреометре RPA-2000 в изотермическом режиме испытания резиновых смесей при температурах 143, 155 и 170 °С.

В рамках решения поставленной задачи была использована формальная кинетическая схема, включающая ряд последовательных и параллельных реакций, протекающих в процессе вулканизации без участия активатора – оксида цинка [4; 5]:



Константы скоростей реакций были обозначены как k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 и k_6 , а концентрации реагирующих веществ – переменными: $U = y_1$ (ускоритель); $S = y_2$ (сера); $U^* = y_3$ (комплекс ускорителя и серы); $D = y_4$ (действительный агент вулканизации - ДАВ); $R = y_5$ (каучук); $RD = y_6$ (подвеска); $RDR = y_7$ (сшивка); $RDR^* = y_8$ (сшивка, склонная к деструкции); $R^* = y_9$ (продукт деструкции).

Система дифференциальных уравнений для данной сложной реакции будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}\frac{\partial y_1}{\partial t} &= -k_1 y_1 y_2 + k_2 y_2 y_3 \\ \frac{\partial y_2}{\partial t} &= -k_1 y_1 y_2 - k_2 y_2 y_3 \\ \frac{\partial y_3}{\partial t} &= k_1 y_1 y_2 - k_2 y_2 y_3 + k_3 y_4 y_5 + k_4 y_6 y_6 \\ \frac{\partial y_4}{\partial t} &= k_2 y_2 y_3 - k_3 y_4 y_5 \\ \frac{\partial y_5}{\partial t} &= -k_3 y_4 y_5 \\ \frac{\partial y_6}{\partial t} &= k_3 y_4 y_5 - 2(k_4 + k_5) y_6 y_6 \\ \frac{\partial y_7}{\partial t} &= k_4 y_6 y_6 \\ \frac{\partial y_8}{\partial t} &= k_5 y_6 y_6 - k_6 y_8 \\ \frac{\partial y_9}{\partial t} &= k_6 y_8\end{aligned}$$

Начальные концентрации реагентов составляли: $U_0 = 0,034$ моль/л; $S_0 = 0,007$ моль/л; $R_0 = 13,17$ моль/л; $T = 170$ °С.

Степень сшивания – величину, пропорциональную концентрации поперечных связей – оценивали по величине крутящего момента при измерении кинетики вулканизации на виброреометре. Связь между моментом M и общей концентрацией сшивок C задавалась выражением

$$M = K_m (RDR + RDR^*),$$

где K_m – коэффициент момента (коэффициент пропорциональности между концентрацией сшивок и крутящим моментом на виброреометре).

Решение задачи Коши для приведенной выше системы дифференциальных уравнений осуществлялось с помощью пакета прикладных

математических программ SciLab. На рис. 1 приведены экспериментальные и расчетные кинетические кривые вулканизации исследуемой резиновой смеси при различных температурах испытания.

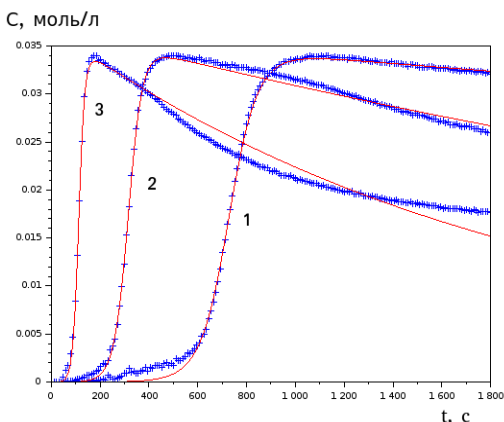


Рис. 1. Экспериментальные (точки) и расчетные (сплошные линии) зависимости концентрации сшивков от времени испытания для резиновой смеси при температурах 143 °C (1), 155 °C (2) и 170 °C (3)

Адекватность математической модели подтверждается хорошим совпадением расчетных значений концентрации сшивков с экспериментальными на всех участках кривых, соответствующих разным стадиям процесса вулканизации: в индукционном и главном периодах, в области плато и в стадии реверсии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гришин Б.С.* Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных): монография. Ч. 1. Казань: КГТУ, 2010. 506 с.
2. *Аветисян А.Л.* Интенсификация режимов и сбережение энергии при вулканизации шин на предприятиях ОАО "АМТЕЛ-ФРЕДЕШТАЙН" / А.Л. Аветисян, А.А. Вольнов // Мир шин. 2007. № 11. С. 38-47.
3. *Лукомская А.И.* Оценка степени вулканизации резин в изделиях. М.: ЦНИИТЭ-нефтехим, 1972. 43 с.
4. *Маркелов, В.Г.* Оценка параметров модели реакции вулканизации шинных резин в рамках формальной кинетической схемы / В.Г. Маркелов, М.Е. Соловьев // Изв. вузов. Сер. Химия и хим. технология. 2008. Т. 51, № 4. С. 40-42.
5. *Маркелов В.Г.* Моделирование процесса вулканизации толстостенных резиновых изделий / В.Г. Маркелов, М.Е. Соловьев // Изв. вузов. Сер. Химия и хим. технология, 2007. Т. 50, № 4. С. 95-99.

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НАПОЛНЕННЫЕ МАГНИТНЫМИ ПИГМЕНТАМИ

Г.Б. Ануфриева, Е.А. Индейкин

Научный руководитель – **Е.А. Индейкин**, профессор

Ярославский государственный технический университет

Исследовали свойства магнитных пигментов в полимерных композиционных материалах

Ключевые слова: композиционные материалы, методы исследования

POLYMER COMPOSITE MATERIALS FILLED WITH MAGNETIC PIGMENTS

G.B. Anufrieva, E.A. Indeikin

Scientific Supervisor – **E.A. Indeikin**, Professor

Yaroslavl State Technical University

The properties of magnetic pigments in polymer composite materials were investigated

Keywords: compositematerials, researchmethods

Железоокисидные пигменты представляют собой неорганический тип веществ, состоящий из гидратов окислов и окислов разного уровня окисления [1]. По методу получения они разделяются на естественные и синтетические. По сравнению с природными последние используются намного чаще. Обосновано это большим содержанием красящих веществ в пигментах синтетического типа и невысокой стоимостью. Оксиды железа обладают обширным цветовым разнообразием: от черно-синих до желтых и зеленых тонов.

Природные железоокисидные пигменты могут быть использованы для получения пигментированных лакокрасочных материалов на основе любых пленкообразователей. Они применяются для художественных и типографских красок, окрашивания пластмасс, строительных облицовочных и древесно-стружечных материалов. Важнейшие природные железо-

оксидные пигменты: железный сурик, мумия, охра, сиена, умбра, марганцовая коричневая, кассельская коричневая, железная слюдка [1].

В настоящее время на заводах, перерабатывающих железосодержащее сырье, образуется значительное количество отходов в виде оксидов железа в различной степени окисления. Целесообразно проводить исследования с целью нахождения оптимальных условий утилизации таких отходов, в том числе использования их в качестве пигментов для композиционных материалов.

Ряд предприятий перерабатывают вышеупомянутые отходы в продукты для использования в качестве пигментов и наполнителей полимерных композиционных материалов.

В рамках работы «Исследование пигмента железоксидного производства ООО «Ферроколор» и разработка рекомендаций по его применению» проведены исследования его использования в составе материалов.

В ходе работы были исследованы свойства пигментов, полученных на предприятии ООО «Ферроколор» (г. Старый Оскол) из отходов металлургического промышленности. Изучены технические, оптические и противокоррозионные свойства таких пигментов. Объектами исследования являются пигменты железоксидные, производства ООО «Ферроколор», полученные из отходов Старооскольского металлургического комбината, обозначенные марками:

- 1) F69-01 (осажденный на рукавном фильтре),
- 2) F69-02 (осажденный в циклоне),
- 3) F66-02 КР+Ц (содержит 90% F69-02 и 10% красного железоксидного пигмента).

В качестве образца сравнения использовался красный железоксидный пигмент (ТУ2322-166-05011907-98). Проведены исследования оптических свойств пигментов КЖОП, F69-01, F69-02, F66-02 КР+Ц. Результаты представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1. Оптические свойства пигментов

Показатели	Пигмент			
	КЖОП	F69-01	F69-02	F66-02 КР+Ц
Координаты цвета	X=15,16 L*=32,35 Y=13,84a*=19,44 Z=7,14b*=6,39	X=15,16 L*=30,88 Y=13,84a*=10,24 Z=7,14b*=5,9	X=12,65 L*=30,69 Y=11,69 a*=8,9 Z=7,81 b*=5,04	X=12,91 L*=32,31 Y=11,49 a*=14,78 Z=8,49 b*=6,7
Светостойкость пигмента, ΔE	1,32	1,57	1,18	0,75

На рис. 1 представлены спектры диффузного отражения образцов пигментов, по которым были определены цветовые координаты (см. табл. 1).

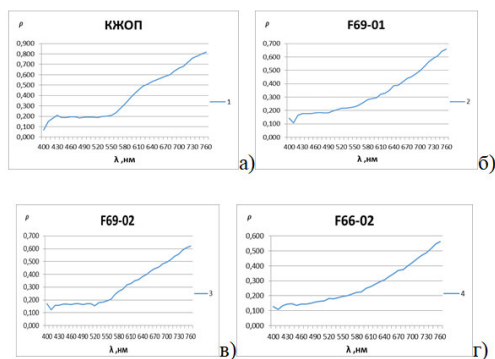


Рис. 1. Спектры отражения пигментов:
а – КЖОП, б – F69-01, г – F69-02, в – F66-02 КР+Ц

Как видно из представленных микрофотографий, рельеф поверхности покраски, полученной из пигмента КЖОП и F66-02 КР+Ц наиболее ровный ввиду высокой дисперсности этого пигмента. Повышение полидисперсности пигмента приводит к проявлению неровностей (рис. 2, б, в). Бесцветные включения и включения белого цвета на поверхности красок представляют собой примеси водорастворимых солей.

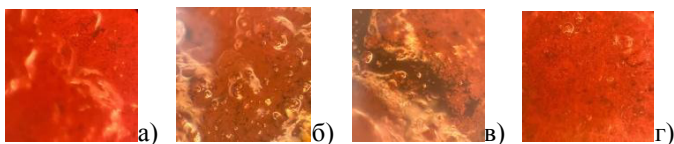


Рис. 2. Микрофотографии красок пигментов:
а – КЖОП; б – F69-01; в – F69-02; г – F66-02 КР+Ц

В ходе исследований показано, что данные пигменты по техническим свойствам не уступают традиционным железоксидным пигментам. Однако содержат большое количество водорастворимых солей и уступают по оптическим свойствам традиционным железоксидным пигментам.

Высокое содержание водорастворимых солей не позволяет значительно снижать токи коррозии в присутствии исследуемых пигментов, не смотря на наличие катодного и анодного торможения. Таким образом, данные пигменты не могут в изначальном виде не могут использоваться как противокоррозионные.

Пигменты обладают достаточными техническими свойствами, полученные материалы обладают требуемыми техническими свойствами. Особо необходимо отметить пигмент марки F66-02 КР+Ц, который обладает хорошими магнитными свойствами. В процессе экспозиции в коррозионной среде наблюдается увеличение импеданса, что свидетельствует о том, что оказывается пассивирующее действие.

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. *Горловский И.А.* Лабораторный практикум по пигментам и пигментированным лакокрасочным материалам: учебное пособие для вузов / И.А. Горловский, Е.А. Индейкин, И.А. Толмачев. Л: Химия, 1990. 240 с.
3. ASTM G3 – 89 (2010) Standard Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing.

КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛФОРМАЛЯ И РЕЗОЛЬНЫХ СМОЛ

Г.Б. Ануфриева, М.А. Волкова, Д.О. Бакунин, А.А. Ильин

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

Ярославский государственный технический университет

Установлено, что для разработки поливинилформалевых композиций могут быть практически использованы органические растворители: диметилформамид, бензиловый спирт. Установлено, что поливинилформалевая композиция с диметилацетамидом позволяет получать покрытия с низкой диэлектрической проницаемостью.

Ключевые слова: поливинилформал; диметилформамид; фенолформальдегидная резольная смола; диэлектрическая проницаемость

COMPOSITIONS BASED ON POLYVINYLFORMAL AND RESOLE RESINS

G.B. Anufrieva, M.A. Volkova, D.O. Bakunin, A.A. Ilyin

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

Yaroslavl State Technical University

It has been established that for the development of polyvinylformal compositions, organic solvents can be practically used: dimethylformamide, benzyl alcohol. It has been established that a polyvinylformal composition with dimethylacetamide makes it possible to obtain coatings with a low dielectric constant.

Keywords: polyvinylformal; dimethylformamide; phenol-formaldehyde resole resin; the dielectric constant

В последнее время в странах ЕС для изготовления электроизоляционных лаков, стойких к действию масел, жиров, наносимых на различные токопроводящие поверхности (провода, кабели и др.), работающих при высоком напряжении, применяется в качестве пленкообразователя поливинилформаль в комбинации с фенолформальдегидными смолами в основном резольного типа [1].

Высокая прочность, теплостойкость, твердость, хорошие диэлектрические свойства поливинилформалья, а также стойкость его пленок к истиранию сделали этот полимер ценным материалом для производства электроизоляционных покрытий и, в частности, для эмалировки и покры-

тия магнитных проводов в динамомашинах [2]. Введение резольных смол (до 20% мас.), способных при нагревании реагировать с функциональными группами ацеталей и к переходу в неплавкое состояние, улучшает теплостойкость поливинилформаль, повышает его нерастворимость и прочность к истиранию. По сравнению с обычными составами, применяемыми для эмалировки и изоляции магнитных проводов, композиции на основе поливинилформаль имеют преимущества в большей стойкости к горячим маслам, эластичности и прочности к истиранию. Это приводит к лучшей сохранности изоляции при намотке, хранении и применении проволоки. Изоляция из формаль отличается также более высокими диэлектрическими свойствами, которые сравнительно мало меняются в широком температурном интервале [1].

К сожалению, поставка электроизоляционного лака на основе поливинилформаль странами ЕС прекращена в Россию из-за экономических санкций. Поэтому, актуальна разработка отечественного поливинилформалевого лака, не уступающего по эксплуатационным свойствам образцу стран ЕС.

Цель настоящей работы – разработка отечественного электроизоляционного лака на основе поливинилформаль не уступающего по эксплуатационным свойствам образцу стран ЕС. Данная научная работа направлена на импортозамещение.

Объектами исследования являлись: поливинилформаль, предоставленный ООО «Химбиотех» (г. Переславль-Залесский), фенолформальдегидная резольная смола 101К производства АО «Бальзам» (г. Нижний Новгород) и органические растворители: диметилацетамид; бензиловый спирт; толуол; о-ксилол; этанол; метилпирролидон; метилэтилкетон; крезол.

Установлено, что лучшими растворителями для поливинилформалевых композиций являются диметилацетамид, бензиловый спирт и крезол. Было принято для дальнейшей разработки рецептуры отказаться от крезола, т.к. данный растворитель не выпускается и не импортируется в Россию из-за экологических ограничений. Установлено, что предоставленный поливинилформаль способен образовывать истинный раствор только до 5% мас., что вероятно связано с высокой молекулярной массой и разветвленной структурой полимера.

Установлено, что поливинилформалевая композиция с диметилацетамидом позволяет получать покрытия с низкой диэлектрической проницаемостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Розенберг М.Э.* Полимеры на основе винилацетата. Л.: Изд-во «Химия»: Ленинградское отделение, 1983.
2. *Барг Э.И.* Технология синтетических пластических масс / под ред. чл.-кор. АН СССР проф. С.Н. Ушакова. Л.: Госхимиздат, 1954. 313 с.

УДК 667.633

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ИНГИБИТОРОВ ОТВЕРЖДЕНИЯ БЕТОНА

С.В. Варгасова, А.Е. Терешко

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

Ярославский государственный технический университет

Изучены свойства красок, содержащих ингибиторы отверждения бетона. Разработаны рецептуры и технология получения таких красок из доступного отечественного сырья.

Ключевые слова: краска, «мытый бетон», ингибитор отверждения, килота, маслосмкость, укрывистость, растворимость

DEVELOPMENT OF A FORMULATION OF CONCRETE CURING INHIBITORS

S.V. Vargasova, A.E. Tereshko

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

Yaroslavl State Technical University

The properties of paints containing concrete curing inhibitors have been studied. Formulations and technology for obtaining such paints from available domestic raw materials have been developed.

Keywords: paint, "washed concrete", curing inhibitor, acid, oil capacity, hiding power, solubility

В настоящее время все большую распространенность получила технология изготовления бетонных изделий «мытый бетон». Она позволяет получать изделия особого декоративного эффекта, который необычен и феноменален. С помощью данной технологии можно получать уникальные фактуры, у которых не будет аналогов.

Для придания поверхности бетонных изделий особых декоративных свойств при формировании изделий используются ингибиторы отверждения бетона, которыми обрабатывается поверхность изделия. Далее не отвержденный поверхностный слой смывается с изделия и поверх-

ность изделия имеет фактуру декоративного наполнителя, который добавлен в цементную смесь.

На сегодняшний день, выпускаются специальные краски, содержащие ингибиторы отверждения бетона. Но такие материалы высокого качества только импортного производства и на сегодняшний день на лакокрасочном рынке РФ их нет.

В связи с этим целью данного исследования является разработка материала для окраски бетона методом «мытый бетон». Поскольку сейчас отсутствуют импортное сырье и материалы, вопрос необходимости создания отечественной краски из доступного сырья стоит очень остро.

Прежде всего нами были исследованы свойства и ориентировочный состав образцов краски импортного производства PieriDRC, обладающие разной проникающей способностью ингибитора.

Как известно из литературных данных в качестве ингибиторов в красках для получения «мытого бетона» используются кислоты: винная или лимонная. Поэтому нами было определена концентрация кислоты в исследуемых образцах методом прямого титрования. Установлена зависимость pH от количества титранта и рассчитаны значения концентрации для голубой и розовой краски, которые составляют $79,4 \cdot 10^{-5}$ и $44,6 \cdot 10^{-5}$ моль/г соответственно. Титрование самих кислот, винной и лимонной позволило получить зависимости изменения pH от количества титранта и рассчитать концентрацию кислоты или смеси кислот в образцах краски.

Было найдено содержание нелетучих веществ в процентах для двух образцов краски. Для розовой краски - 84%, а для голубой – 72,5%. Высокий процент сухого остатка, говорит о невысоком содержании органических растворителей, что снижает выброс вредных веществ в окружающую среду. Этот параметр оказывает влияние на экономические расчеты.

Определена укрывистость визуальным методом, которая показывает сколько ЛКМв граммах необходимо для укрытия 1 м² поверхности. Значения составляют для розовой краски 129,8 г/м², для голубой краски 109,2 г/м². Это довольно высокие значения, а следовательно, большой расход краски и экономическая нецелесообразность.

Таким образом нами были установлены ключевые параметры импортных образцов краски. Для разработки рецептуры таких материалов из доступного сырья нами были проведены исследования смол, которые могут использоваться в качестве пленкообразователя в таких красках: Pinustack 535, Pinustack 455, канифоль сосновая, глицериновый эфир канифоли (ГЭК) 450 n289, ГЭК n459, глицериновый эфир таловой канифоли (ГЭТК) n45.

Прежде всего определили растворимость смол в различных классах растворителей. А также винной и лимонной кислоты для нахождения

совместимости по растворителям. В ходе эксперимента оказалось, что винная кислота растворяется в бутаноле-1 в котором также растворяется Pinustack 535 и ГЭК n459. Лимонная кислота растворяется в ацетоне как и канифоль сосновая, Pinustack 535 и Pinustack 455. Таким образом, для получения краски выбраны смолы Pinustack 535 и ГЭК n459 и бутанол, как наименее токсичный растворитель.

В качестве наполнителей для краски используется диоксид титана (R-706) и диоксид кремния (Ковелос 35/01). По маслосемкости смеси данных наполнителей определили критическое объемное содержание пигмента и составили рецептуры пигментной пасты. Диспергирование пигментной пасты проводили в дисольвере Номоге (Польша) объемом 250см^3 , снабженном дисковой мешалкой диаметром 40 мм с максимальной частотой вращения 230 с^{-1} . Для получения краски, пигментную пасту совмещали с раствором смолы и раствором лимонной и винной кислот.

Таким образом нами были получены стабильные краски с различным содержанием ингибитора отверждения бетона, которые могут быть рекомендованы к испытанию на применимость в технологии «мытый бетон».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Яковлев А.Д.* Химия и технология лакокрасочных покрытий: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. 448 с.
2. *Сорокин М.Ф.* Химия и технология пленкообразующих веществ: Учебник для вузов / М.Ф. Сорокин, З.А. Кочнова, Л.Г. Шодэ. М.: Химия. 1989. 480 с.

УДК 667.61

**ВЫБОР ПАВ ДЛЯ ВОДНО-ДИСПЕРСНЫХ
ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ:
СМАЧИВАТЕЛИ И ПЕНОГАСИТЕЛИ**

С.С. Васильева, А.А. Романова, А.Е. Терешко

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

Ярославский государственный технический университет

Смачиватели и пеногасители – ПАВ для водно-дисперсных лакокрасочных материалов, которые улучшают качество нанесение красок на поверхность.

***Ключевые слова:** водно-дисперсные лакокрасочные материалы, поверхностно активные вещества, смачиватели, пеногасители*

**SELECTION OF SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES
FOR WATERDISPERSIBLE PAINT MATERIALS:
WETTING AGENTS AND DEFOAMERS**

S.S. Vasileva, A.A. Romanova, A.E. Tereshko

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

Yaroslavl State Technical University

Wetting agents and defoamers – SAS for waterdispersible paint material, optimizing quality of application of paint materials on the surface.

***Keywords:** Waterdispersible paint materials, surfactants, wetting agents, defoamers*

С ухудшением экологии планеты производители стали отдавать предпочтение более безопасным материалам, поэтому всю большую популярность на рынке приобретают водно-дисперсионные лакокрасочные материалы, при производстве которых не используются токсичные и пожароопасные органических вещества. Вследствие использования безопасных органических веществ водно-дисперсионные лакокрасочные материалы обладают низкой токсичностью, влагостойкостью, быстро сохнут и позволяют обеспечить более благоприятные условия труда. Область применения данных материалов заключается не только в де-

коративной отделке зданий и сооружений, но и защите их от действия влаги, солнечного света, механических и химических повреждений. Одним из основных способов целенаправленного регулирования свойств водно-дисперсионных лакокрасочных материалов является использование поверхностно-активных веществ (ПАВ)[1].

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – это вещества, адсорбирующиеся на поверхности раздела фаз и образующие на ней слой повышенной концентрации, характеризующейся способностью снижать поверхностное натяжение [1]. Их используют для улучшения смачивания, стабилизации дисперсий, регулирования технологических свойств лакокрасочных материалов, таких как вязкость, укрывистость, адгезия и другие. Среди ПАВ, используемых в качестве добавок для водно-дисперсионных лакокрасочных материалов, различают эмульгаторы, стабилизаторы, диспергаторы, смачиватели и пеногасители. Последние два вида ПАВ рассмотрим более подробно.

Для лучшего нанесения и распределения водно-дисперсионных лакокрасочных материалов добавляют специальные добавки – смачиватели. Смачиватели – функциональные добавки, в виде поверхностно-активных веществ, которые способны понижать на границе двух фаз поверхностное натяжение. Они стабилизируют поверхность при адсорбции, образуя сплошную, тонкую плёнку, поэтому смачиваемая поверхность становится или гидрофильной, или гидрофобной в зависимости от заданных условий. При смачивании пигмента молекулы адсорбированного воздуха на поверхности частиц замещаются на молекулы поверхностно-активных веществ и связующего [1]. Например, при использовании краски с добавлением смачивателей можно окрасить гидрофильную поверхность, придав ей свойство гидрофобности, так окрашивают многие металлосооружения в северных регионах России, регионах с морских климатом.

Молекулы смачивателей представляют собой короткоцепные молекулы с одной или несколькими полярными преимущественно ионными группами. Ионные группы в составе смачивателей, которые диссоциируют на ионы, одни из которых обладают адсорбционной активностью, а другие – адсорбционно не активные. Наличие нескольких полярных групп увеличивает способность молекулы «держаться» на поверхности пигментных частиц. От данных ПАВ не требуется высокая поверхностная активность и прочность адсорбционной связи, поэтому в качестве смачивателей в водных дисперсиях применяются ПАВ с минимальной молекулярной массой и высокими значениями критическая концентрация мицеллообразования [1]. К смачивателям относят силикаты, полифосфаты, лигносульфонаты щелочных металлов (жидкое стекло, кремнефтористый натрий), некоторые комплексообразующие реагенты (например,

эффиры сульфоянтарной кислоты). Кроме того, в качестве смачивателей выступают водорастворимые природные и синтетические органические полимеры (крахмалы, декстрины, танины, полиметакрилаты) [2].

На данный момент стараются сделать так, чтоб добавляемый ПАВ, диспергатор, смог обеспечить выполнение трех функций: смачивания, диспергирования и стабилизации, при ее минимальной концентрации. Такая молекула должна содержать части присущие каждому отдельному ПАВу. Таким образом, для выполнения функции смачивания в состав молекулы должны входить гидрофильные и гидрофобные фрагменты оптимального размера и должны располагаться в ней соответствующим образом.

Добавление ПАВ (загустителей, смачивателей, эмульгаторов и др.) приводит к уменьшению поверхностного натяжения системы. В следствие чего, в процессе диспергирования, перемешивания и при транспортировке на поверхности водно-дисперсных лакокрасочных материалов образуется пена, которая снижает качество покраски. Для устранения данной проблемы используют пеногасители.

Пеногасители – это жидкости с низким поверхностным натяжением, которые могут разрушать поверхностную пленку или стабилизирующий двойной слой, позволяя воздуху выходить из массы краски[3]. Они представляют собой нерастворимые или плохо растворимые в воде активные ингредиенты, гидрофобные частицы или их смеси.

В настоящее время используют пеногасители на основе силиконовых, минеральных, растительных и полярных масел. Первые используются в небольших количествах, так как они способны вызывать образования дефектов покрытия (кратеры, «рыбий глаз», ячейки Бенара) из-за высокой несовместимости со средой. Минеральные масла, благодаря высокой алифатической структуре, обладают высокой гидрофобностью, поэтому ограниченно совместимы с лакокрасочными материалами. Применяются в основном для строительных красок, так как в менее наполненной системе вызывает миграцию пигмента, что приводит к снижению блеска [4]. Пеногасители на основе растительных масел более экологичные, но связи с тем, что главная цепь молекулы алифатическая, они обладают теми же недостатками, что и пеногасители на основе минеральных масел.

Структура пены неоднородна и способна изменяться со временем, поэтому не существует универсальных пеногасителей. Выбор пеногасителей основывается на эмпирических данных. Важными критериями выбора является природа дисперсии, объемная концентрация пигмента, метод нанесения и условия введения пеногасителя [4].

Подводя итоги, хочется обратить внимание на то, что при добавлении в лакокрасочные материалы ПАВ, выполняющие функции смачивателей и пеногасителей, наблюдается их «конфликт». Пеногасители мо-

гут разрушать поверхностную пленку, которую образуют смачиватели, поэтому материалы будут ложиться на поверхности с дефектами. Кроме того, в настоящее время на российском рынке отсутствуют европейские ПАВы, которые использовались в качестве основных добавок, поэтому разработка и внедрение отечественных ПАВ является актуальной проблемой, которая требует решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Манеров Е.В.* Влияние полимерных ПАВ на формирование и свойства полиэфирмеламиновых композиций: дис. ... канд. хим. наук.: ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет». Ярославль, 2012. С. 153.
2. *Индейкин Е.А.* Пигментирование лакокрасочных материалов / Е.А. Индейкин, Л.Н. Лейбзон, И.А. Толмачев. Л.: Изд-во «Химия», 1987. С. 159.
3. *Казакова Е.Е.* Водно-дисперсные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения / Е.Е. Кирилова, О.Н. Стрельцов. М.: Изд-во ООО «Пейт-Медиа», 2003. С. 136.
4. *Шинкович Д.Н.* Разработка пеногасящей системы для водно-дисперсной краски для окрашивания пластмасс / Д.Н. Шинкович, А.А. Мартинкевич, Н.Р. Прокопчук // Труды БГТУ. Минск: БГТУ, 2014. № 4 (168). С. 18-21.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Е.С. Иванова, А.В. Яковлева, В.А. Данилов

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

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Исследованы водные растворы полиметакриловой кислоты. Методом потенциометрического титрования определено содержание карбоксильных групп, выявлена зависимость относительной вязкости от рН, определена молекулярная масса полимера.

Ключевые слова: полиметакриловая кислота, полимеризация, определение карбоксильных групп, потенциометрическое титрование, молекулярная масса

STUDY OF AQUEOUS SOLUTIONS OF POLYMETACRYLIC ACID

E.S. Ivanova, A.V. Yakovleva, V.A. Danilov

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

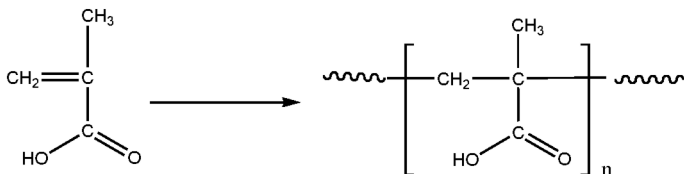
Chuvash State University named after I.N. Ulyanova

Aqueous solutions of polymethacrylic acid were investigated. The content of carboxyl groups was determined by the method of potentiometric titration, the dependence of relative viscosity on pH was revealed, and the molecular weight of the polymer was determined.

Keywords: polymethacrylic acid, polymerization, determination of carboxyl groups, potentiometric titration, molecular weight

В настоящее время полиметакриловая кислота (ПМАК) имеет обширное применение в различных областях промышленности, медицине и т.д. Полиметакриловая кислота – бесцветный стеклообразный хрупкий и неплавкий полимер, кроме того она является физиологически индифферентной, что имеет важное значение в медицине [1]. Данная кислота нашла широкое применение в технике зубного протезирования, также для защиты продуктов при консервировании. Полиметакриловую кислоту используют в качестве печатных красок, в производстве органического

стекла. Её соли служат эмульгаторами [2]. Полимеризацию метакриловой кислоты проводили в присутствии инициатора радикальной полимеризации – перекиси бензоила при 80°C до образования твердых полимеров белого цвета [3].



Полученный полимер растворяли в воде. В работе были исследованы водные растворы ПМАК различной концентрации. Установлено, что содержание карбоксильных групп в полиметакриловой кислоте составляет 7,6%.

Исследование зависимости относительной вязкости от рН показало, что для разбавленных растворов полиметакриловой кислоты при увеличении рН относительная вязкость увеличивается (рис. 1), для 10% – сначала падает, а при достижения нейтральной среды – начинает расти (рис. 2).

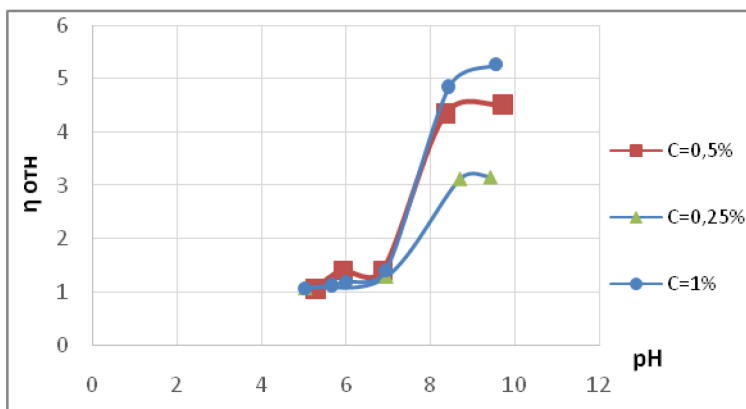


Рис. 1. Зависимость относительной вязкости разбавленных растворов ПМАК от рН

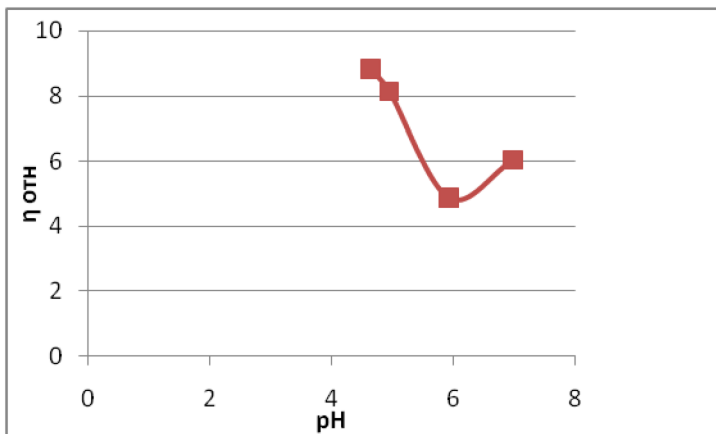


Рис. 2. Зависимость относительной вязкости 10%-ного раствора ПМАК от pH

По методике, приведенной в [4], определили среднюю молекулярную массу полимера вискозиметрическим методом. Значение составляет $MM=3,54 \cdot 10^4$. Полученные сведения важны при применении в промышленности водных растворов полиметакриловой кислоты в качестве стабилизаторов и флокулянтов коллоидных систем, связующих, полиадсорбентов, полимерных комплексообразователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энциклопедия полимеров. Т.1 / Каргин В.А., М.С. Акутин, Е.В. Вонский [и др.]. М., 1972. 1224 с.
2. Compatibility studies on dehydrated castor oil epoxy blend with poly(methacrylic acid) / S.M. Ashraf, S. Ahmad, U. Riaz [et al.] // Journal of Macromolecular Science - Pure and Applied Chemistry. 2005. Vol. 42 A, №10. P. 1409-1421.
3. Гауптман З. Органическая химия / З. Гауптман, Ю. Грефе, Х. Ремане. М.: Химия, 1979. 803 с.
4. Осовская И.И. Практическая вискозиметрия: учебное пособие / И.И. Осовская, В.С. Антонова. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. 78 с.

УДК 620.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ИММОБИЛИЗАЦИИ 4-АМИНОАНТИПИРИНА НА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТОНАЦИОННОГО НАНОАЛМАЗА

Е.С. Иванова, А.В. Яковлева, В.В. Андреева

Научный руководитель – **В.В. Андреева**, ст. преподаватель

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Статья посвящена исследованию иммобилизации 4-аминоантипирина на поверхности детонационного наноалмаза. Представлены наиболее простые и удобные способы для иммобилизации.

Ключевые слова: иммобилизация, детонационный наноалмаз, 4-аминоантипирин, адсорбционная прививка

STUDY OF IMMOBILIZATION OF 4-AMINOANTIPYRINE ON THE SURFACE OF A DETONATION NANODIAMOND

E.S. Ivanova, A.V. Yakovleva, V.V. Andreeva

Scientific Supervisor – **V.V. Andreeva**, Senior Lecturer

Chuvash State University named after I.N. Ulyanova

The article is devoted to the study of the immobilization of 4-aminoantipyrine on the surface of a detonation nanodiamond. The simplest and most convenient methods for immobilization are presented.

Keywords: Immobilization, detonation nanodiamond, 4-aminoantipyrine, adsorption inoculation

Детонационный наноалмаз является перспективным наноносителем для направленного транспорта биологически активных и лекарственных веществ [1]. Перспективное применение обуславливают физико-химические и биофармацевтические свойства детонационного наноалмаза. Данный транспорт позволяет повысить концентрацию доставляемых средств в определённом месте, снизить побочные эффекты, повысить эффективность действия лекарства [2].

Аминоантипирин является противовирусным и противогрибковым средством.

Иммобилизацию биологически активного или лекарственного вещества на поверхность ДНА можно осуществить двумя способами: химическим связыванием (ковалентной прививкой – образованием ковалентной связи между ЛС и носителем) или адсорбционной иммобилизацией (без возникновения ковалентной связи между ЛС и носителем).

Иммобилизацию 4-аминоантипирина на поверхности ДНА мы осуществляли двумя способами:

1. В растворе просто смешиваются два компонента и ставятся на интенсивное перемешивание в MULTI VORTEX на 24 часа. Затем промывается и центрифугируется. Пробы высушили 5 часов в сушильной вакуумной камере.

2. Механохимический (адсорбционная прививка). Заключается в активировании поверхности наноалмаза и вещества. Это достигается при тщательном перемешивании и растирании компонентов на агатовой ступке.

На основе полученных практических данных можно сделать вывод, что адсорбция 4-аминоантипирна на поверхности ДНА (очищенного) проходит лучше всего при механохимическом способе иммобилизации 7,5% доля адсорбированного ЛВ, что почти в 7-8 выше, чем в растворе. Иммобилизация 4-аминоантипирина в растворе на поверхности ДНА (-СООН) проходит лучше, чем в механохимическом способе. Значит иммобилизация на поверхности ДНА (-СООН) лучше всего проводить в растворе. А иммобилизацию на поверхности ДНА (очищенного) лучше проводить механохимическим способом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Яковлев Р.Ю.* Детонационный наноалмаз как перспективный носитель биологически активных веществ: автореферат дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04, 14.04.02 / Яковлев Руслан Юрьевич. Рязань, 2016. 26 с.
2. Наноалмазы в фармации и медицине: учебно-методическое пособие для студентов фармацевтического факультета / Р.Ю. Яковлев [и др.]; ГБОУ ВПО РязГМУ Минздрава России. Рязань: РИО УМУ, 2016. 115 с.

УДК 667.633

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫХ КРАСОК

Е.М. Козлова, А.Е. Терешко

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

Ярославский государственный технический университет

Исследовали свойства микрокальцита различных марок для водно-дисперсионных красок

Ключевые слова: наполнитель, микрокальцит, водно-дисперсионные краски, ионы кальция

RESEARCH OF FILLERS FOR WATER-DISPERSION PAINTS

E.M. Kozlova, A.E. Tereshko

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

Yaroslavl State Technical University

The properties of microcalcite of various grades for water-dispersion paints were investigated

Keywords: filler, microcalcite, water-dispersion paints, calcium ions

Производство качественных лакокрасочных материалов, отвечающих всем современным требованиям, невозможно без постоянного совершенствования рецептур и поиска новых решений, удешевляющих производство и при этом сохраняющих ценные свойства материала. В связи с этим все большее значение приобретает использование в составе лакокрасочных материалов дешевых, но эффективных компонентов, которые могут заменить дорогое или токсичное сырье.

Наполнители — минеральные порошки, нерастворимые в связующем, более дешевые и доступные вещества, чем пигменты. Они имеют низкий показатель преломления ($n = 1,45-1,65$), близкий показателю преломления олиф и лаков. Из-за этого наполнители зрительно исчезают в пленке. Их используют для экономии дорогостоящих пигментов, а также

для улучшения малярно-технических и эксплуатационных свойств покрытий.

Чаще всего в состав лакокрасочных материалов вводятся белые наполнители такие как: мел природный, химически осажденный мел, тальк, микрокальцит, волластонит и другие. Эти порошки обладают различной дисперсностью и различным коэффициентом преломления.

Одним из наиболее распространенных видов наполнителей является мел и микрокальцит. Разные марки мела и микрокальцита могут генерировать ионы кальция в водную фазу, что может оказывать влияние на агрегативную устойчивость полимерных дисперсий при совмещении их с таким типом наполнителей, что необходимо учитывать при введении данных наполнителей в водно-дисперсионные материалы.

В связи с этим целью работы является исследование различных марок микрокальцита и мела и изучение их свойств в водной среде.

Объектами исследования являются марки микрокальцита, отличающиеся размером частиц, такие как:

- 1) Uralcarb 2,5 (средний размер частиц 2,5 мкм)
- 2) AGSCARB 5 (средний размер частиц 5 мкм)
- 3) Normal 5 (средний размер частиц 5 мкм)
- 4) Мел мелкодисперсный
- 5) Микрокальцит

Нами были проведены исследования концентраций ионов кальция в водных суспензиях исследуемых наполнителей. Анализ проведен методом турбидиметрического титрования трилоном Б. Результаты исследований равновесных концентраций ионов кальция в водных суспензиях наполнителей представлены в табл. 1.

Таблица 1. Равновесная концентрация ионов кальция в водных суспензиях микрокальцита

Марка микрокальцита	Uralcarb 2,5	Normal 5	AGSCARB 5	Мел мелкодисперсный	Микрокальцит
Концентрация ионов кальция, моль/г	$5,75 \cdot 10^{-3}$	$2,08 \cdot 10^{-3}$	$1,94 \cdot 10^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$

Как показывают проведенные исследования, в водных суспензиях мела и микрокальцита некоторая часть ионов кальция переходит в раствор с достижением равновесной концентрации, особенно это наблюдается для марки микрокальцита Uralcarb 2,5 обладающий наименьшим размером частиц, что, по всей вероятности, связано с его большей удельной поверхностью.

Несмотря на то что равновесная концентрация ионов кальция в суспензиях микрокальцита и мела не велика, этот параметр необходимо

учитывать при разработке рецептур водно-дисперсионных лакокрасочных материалов, т.к. агрегативная устойчивость водных дисперсий полимеров может быть крайне чувствительна к наличию в системе электролитов.

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. *Горловский И.А.* Лабораторный практикум по пигментам и пигментированным лакокрасочным материалам: учебное пособие для вузов / И.А. Горловский, Е.А. Индейкин, И.А. Толмачев. Л: Химия, 1990. 240 с.
3. *Индейкин Е.А.* Физическая химия пигментов и пигментированных материалов: учебное пособие для вузов. Л: Химия, 1977, 88 с.

УДК 668.6

**ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ КРАСНОГО
ЖЕЛЕЗОКСИДНОГО ПИГМЕНТА,
СИНТЕЗИРОВАННОГО ИЗ ОТХОДОВ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

А.Н. Колосова, Я.В. Кудрявцев, А.Е.Терешко

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

Ярославский государственный технический университет

Установлена возможность использования в покрытиях железоксидных пигментов полученных из железосодержащих отходов металлургического производства.

Ключевые слова: оксид железа, железная руда, синтез, железоксидный пигмент, покрытия

**COATINGS BASED ON RED IRON OXIDE PIGMENT
SYNTHESIZED FROM METALLURGICAL INDUSTRY**

A.N. Kolosova, Y.V. Kudryavtsev, A.E. Tereshko

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

Yaroslavl State Technical University

The possibility of using iron oxide pigment obtained from iron-containing wastes of metallurgical industry in coatings has been established.

Keywords: iron ore, synthesis, iron oxide pigment, coating properties

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.

Ранее нами были синтезированы железоксидные пигменты из железосодержащих отходов двух видов с разным содержанием железа: руда

красного цвета (ЖРК) с содержанием железа 75,55% мас., и гранулированный оксид железа (ГОЖ) с содержанием железа 94,5% мас. Пигмент из ЖРК (ПЖРК) и пигмент из ГОЖ (ПГОЖ) синтезировали на лабораторной установке в среде аммиака. Синтезированные пигменты обладают удовлетворительными пигментными свойствами (табл. 1) и могут быть опробованы в рецептурах наполненных лакокрасочных материалов.

Таблица 1. Пигментные свойства ПЖРК и ПГОЖ

Показатель	ПЖРК	ПГОЖ
Средний размер частиц, мкм	1,5	0,9
Сопrotивление диспергированию, мин	-	0,39
Содержание железа, %	78,2	94,5
Маслоемкость, г/100г	13,53	11,94
Укрывистость, г/м ²	32,25	10,14
Содержание водорастворимых солей, %	1,232	0,664
pH водной суспензии	8,73	8,95
Красящая способность, %	23,42	40,84
Цветовые характеристики (координаты цвета в системе CIEL*a*b*)	L*=29,18 a*=9,33 b*=25,69	L*=30,25 a*=7,43 b*=-4,05

В связи с этим, целью работы является получение пигментированных покрытий на основе железооксидных пигментов, синтезированных из отходов металлургических производств, и изучение свойств таких покрытий.

Для получения пигментированного материала в качестве связующего использовали алкидный лак средней жирности (лак ПФ-060). Содержание пигмента в материале варьировали от 20 до 60% мас. Из полученных пигментированных материалов с различным наполнением были получены покрытия и исследованы их физико-механические свойства.

Результаты исследования свойств и стойкости к коррозии полученных покрытий представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Физико-химические свойства покрытий наполненных ПЖРК

Показатель	Лак	Содержание ПЖРК в покрытии, %				
		20	30	40	50	60
Твердость, отн.ед.	0,18	0,18	0,16	0,47	0,35	0,43
Эластичность, мм.	1	1	4	4	6	10
Стойкость к удару, см	50	50	50	50	50	50
Блеск, %	40	55	46	43	34	25
Адгезия, балл	1	1	1	1	1	1
Толщина, мкм	64	122	64	98	108	98

Таблица 3. Физико-химические свойства покрытий наполненных ПГОЖ

Показатель	Лак	Содержание ПГОЖ в покрытии, %			
		20	40	50	60
Твердость, отн.ед.	0,18	0,22	0,36	0,44	0,41
Эластичность, мм.	1	1	1	1	1
Эриксен, мм	8,21	9,48	11,22	11,29	10,71
Блеск, %	40	58	57	46	46
Адгезия, балл	1	1	1	1	1
Толщина, мкм	64	112	101	97	96

Таким образом, рассмотрена возможность использования красного железоксидного пигмента синтезированного из отходов металлургического производства в качестве наполнителя для покрытия. В результате проведенных испытаний видно, что при введении синтезированного пигмента в алкидное покрытие не менее 40% происходит увеличение значение твердости более, чем в два раза, но при этом значительно снижается эластичность у образцов, наполненных ПЖРК. У покрытий наполненных ПГОЖ данный дефект не наблюдается. Стойкость к удару и адгезия не изменяется. Показатель Эриксена несколько больше по сравнению с эталонным лаком. При высоком наполнении пигментом ПЖРК наблюдается снижение блеска. Покрытия, содержащее 60 % пигмента можно отнести к матовым.

Следовательно, синтезированный пигмент на основе ЖРК может быть использован для пигментирования лакокрасочных материалов к которым не предъявляются высокие требования эластичности и коррозионной стойкости. Пигмент на основе ГОЖ обладает рядом преимуществ по сравнению с пигментом на основе ЖРК, но его коррозионная устойчивость подлежит изучению.

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 / Е.Ф. Беленький, И.В. Рискин, 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Госхимиздат, 1960. 757 с.
3. *Колосова А.Н.* Новые виды сырья для синтеза железоксидных пигментов / Колосова А.Н., А.Е. Терешко // Семьдесят пятая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с междунар. участием. 20-21 апреля 2022 г. Ярославль: сб. материалов конф. В. 3.Ч. Ч.1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. С. 180-182.
4. *Кудрявцев Я.В.* Использование гранулированного оксида железа в качестве сырья для синтеза железоксидных пигментов / Я.В. Кудрявцев, А.Е. Терешко // Семьдесят пятая науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с междунар. участием. 20-21 апреля 2022 г. Ярославль: сб. материалов конф. В. 3.Ч. Ч.1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. С. 183-185.

ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРСПЕКТИВЫ УПРАВЛЕНИЯ РОСТОМ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО

М.М. Курбонов, А.В. Павлов

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

Ярославский государственный технический университет

Проведены натурные исследования влияния напряжения и постоянного тока на борщевик Сосновского. Показано, что прямой контакт с полюсами батареи первичных источников тока практически не влияют на жизненный цикл растения. Однако электролиз сока борщевика в присутствии хлористого натрия создает предпосылки управления ростом этого растения.

Ключевые слова: сок борщевика Сосновского, первичные источники тока, электролиз, жизненный цикл растения

POSSIBILITIES AND PROSPECTS OF GROWTH MANAGEMENT OF BORSCHT OF SOSNOVSKY

M.M. Kurbonov, A.V. Pavlov

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

Yaroslavl State Technical University

Full-scale studies of the influence of voltage and direct current on Sosnovsky's hogweed have been carried out. It is shown that direct contact with the battery poles of primary current sources practically does not affect the life cycle of the plant. However, electrolysis of borscht juice in the presence of sodium chloride creates prerequisites for controlling the growth of this plant..

Keywords: Sosnovsky hogweed juice, primary current sources, electrolysis, plant life cycle

Для торможения роста и развития борщевика Сосновского были проведены натурные исследования по изучению влияния постоянного тока на скорость роста растения [1]. Для этого были собраны батареи из последовательно соединенных алкалиновых тип AAA LR-03 батареек "Duracell", состоящие из 1, 2, 3 и 4 первичных источников тока. Батареи соединяли таким образом, чтобы электрический ток проходил в направлении противоположном движению сока борщевика Сосновского [2]. Испытания проводились в мае-июне, то есть до стадии бутонизации, высота всех растений была подобрана одинаковой. Электрический контакт

был изготовлен из медной проволоки диаметром 0,125 мм и встроен в стебель растения на высоте от 45 до 55 см от уровня почвы. Наблюдения производились ежедневно в течении 14 суток. Контролировалось напряжение батареи, которое за указанный период не изменилось и составляло 1,5 В, и внешнее состояние борщевиков (изменение цвета листьев, замедление роста по отношению к другим растениям этого вида). Отмечено, что за указанный промежуток времени электрические контакты покрылись изопреноидами, которые в качестве защитной реакции на внедрение в стебли выделили изучаемые растения [3]. Так как изопреноиды являются диэлектриками, то изучить влияние силы электрического тока на направление движения сока не удалось. Скорость роста изучаемых и контрольных растений также практически не отличалась. Тем не менее возможность перспективы управления ростом борщевика Сосновского была реализована за счет проведения электролиза сока, протекающего по стеблю растения. В качестве электрода использовался шприц из нержавеющей стали, к которому от стартерного свинцового аккумулятора марки 6СТ-55 был подведен электрический контакт, другой электрод изготавливался из медной проволоки и встраивался в стебель растения. Так как сок борщевика имеет низкую электропроводность - 6,2 См, то в качестве электропроводной добавки в систему через шприц с постоянной скоростью подавался 5%-ный раствор хлорида натрия [4]. В результате электролиза уже через 5 минут листья борщевика Сосновского стали дряблыми, и после окончания электролиза листья не смогли восстановиться до первоначального состояния. Отмечено, что после 5-минутного электролиза от автомобильного аккумулятора в течение 3 суток, скорость роста борщевика замедлилась, а стадия бутонизации в последствии не наступила.

Таким образом, определена возможность перспективы управления ростом борщевика Сосновского за счет электролиза в присутствии 5%-ного раствора хлористого натрия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воробьев В.А.* Влияние электрического тока на развитие растений / В.А. Воробьев, Ю.Г. Иванов // Вестник ФГОУ ВПО "Московский гос. агроинженерный ун-т им. В.П. Горячкина". 2017. №4(80). С.23-26.
2. *Войтова А.С.* Слабый электрический ток как фактор стимуляции роста домашних растений / А.С. Войтова, Н.А. Юкин, В.Г. Убирайлова // Междунар. студенческий научный вестник. 2016. № 4-3. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=16284> (дата обращения: 15.03.2023).
3. *Бахтенко Е.Ю.* Многообразие вторичных метаболитов высших растений: учебное пособие. Вологда, 2008. 266с.
4. *Ефимова Т.Н.* Продукты электролиза водных растворов поваренной соли как средство борьбы с борщевиком Сосновского // Междунар. молодежный научный форум "Ломоносов 2019", секция "Биоинженерия и биоинформатика".

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПЛЕНКООБРАЗОВАТЕЛЯ
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛКИДНО-
МЕЛАМИНОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ КОМПОЗИЦИИ**

Д.А. Лапина¹, Д.А. Васильев², М.А. Волкова¹, А.А. Ильин¹

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

¹Ярославский государственный технический университет
²ЗАО «НПК «ЯрЛИ», г.Ярославль

Изучено влияние состава пленкообразователя на физико-механические свойства алкидномеламиноформальдегидной композиции. Установлено влияние избытка гидроксильных групп, бензойной кислоты, канифоли, жирности алкидной смолы на свойства формируемых покрытий.

Ключевые слова: физико-механические свойства, алкидномеламиноформальдегидная композиция

**INFLUENCE OF THE COMPOSITION
OF THE FILM-FORMING POINT ON THE PHYSICAL-
MECHANICAL PROPERTIES OF THE ALKYD-MELAMINO-
FORMALDEHYDE COMPOSITION**

D.A. Lapina¹, D.A. Vasiliev², M.A. Volkova¹, A.A. Ilyin¹

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

¹Yaroslavl State Technical University
²ZAO «NPK «YarLI», Yaroslavl

The influence of the composition of the film former on the physical and mechanical properties of the alkyd-melamine-formaldehyde composition was studied. The effect of an excess of hydroxyl groups, benzoic acid, rosin, and the fat content of alkyd resin on the properties of the formed coatings has been established.

Keywords: physical and mechanical properties, alkyd-melamine-formaldehyde composition

В настоящее время для защиты различных металлоконструкций, эксплуатируемых на открытом воздухе широко используются алкидно-меламиноформальдегидные композиции (МЛ-ЛКМ). Для варьирования и достижения необходимых физико-механических и защитных свойств покрытий на их основе существует потребность в разработке и синтезе алкидных смол различного состава. Варьирование свойств покрытий на основе алкидномеламиноформальдегидных композиций может быть достигнуто за счет изменения мономерного состава алкидной смолы: содержания масла (жирности); содержания гидроксильных групп; бензойной кислоты; канифоли и соотношения других компонентов.

Цель настоящей работы - исследование влияния состава алкидной смолы на физико-механические и защитные свойства формируемых алкидномеламиноформальдегидных покрытий.

Для достижения поставленной цели было необходимо изучить влияние в алкидной смоле:

- избытка гидроксильных групп R(OH);
 - бензойной кислоты;
 - канифоли;
 - жирности алкидной смолы
- на свойства формируемых покрытий.

Объектом исследования служила алкидномеламиноформальдегидная композиция представляющая собой суспензию пигментов и наполнителей в растворе синтетических смол (алкидной и меламиноформальдегидной) с введением целевых добавок (табл. 1).

Таблица 1. Состав модельной алкидномеламиноформальдегидной композиции

Компонент	Содержание, % мас.
Алкидная смола (по сухому)	25,0
<i>орто</i> -ксилол	18,7
Аэросил	1,0
Диоксид титана рутильн.	28,0
Изобутиловый спирт	4,3
Микрокальцит	5,3
Меламиноформальдегидная смола K423-02 (50% в ксилоле)	16,6
Бутилцеллозольв	1,0
Метилэтилкетоксим	0,1
ИТОГО	100

МДНВ (расчетное): 67,6% мас.

Соотношение алкидная смола/МФ-смола=70/30 мас.

Композиции наносились на стальные предварительно обезжиренные пластины марки 08КП(ПС) согласно [1] методом пневматического распыления. Покрытия отверждались при температуре (60 ± 2) °С в течение 60 мин. Толщина покрытий составляла 40 мкм. Пластины перед испытанием выдерживались при комнатной температуре в течение 7 суток.

Вязкость композиций определяли на вискозиметре ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм по [2].

Определение массовой доли нелетучих веществ проводили согласно [3].

Твердость покрытий определяли по [4].

Блеск покрытий определяли по [5].

Установлено влияние избытка гидроксильных групп, бензойной кислоты, канифоли, жирности алкидной смолы на свойства формируемых покрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 9.402-2004. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию.
3. ГОСТ 8420-2022. Материалы лакокрасочные. Методы определения условной вязкости.
4. ГОСТ Р 52487-2010. Материалы лакокрасочные. Определение массовой доли нелетучих веществ.
5. ГОСТ 5233-2021. Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытия по маятниковому прибору.
6. ГОСТ 31975-2017. Материалы лакокрасочные. Метод определения блеска лакокрасочных покрытий под углом 20°, 60° и 85°

УДК 668.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПИГМЕНТНЫХ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА И ПОКРЫТИЙ

Д.А. Ободков, Е.А. Индейкин

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

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается возможность использования железосодержащих отходов металлургического комбината в качестве пигмента для создания лакокрасочных материалов.

Ключевые слова: оксид железа, отходы, примеси, ИК-спектр, коррозия

STUDY OF THE PIGMENT PROPERTIES OF IRON-CONTAINING WASTE OF A METALLURGICAL WORK AND COATINGS

D.A. Obodkov, E.A. Indeikin

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

Yaroslavl State Technical University

The possibility of using iron-containing waste of a metallurgical plant as a pigment for the creation of the coatings.

Keywords: iron oxide, waste, impurities, IR spectrum, corrosion

В результате работы металлургического завода образуется большое количество отходов, которые необходимо утилизировать, что является дополнительными затратами, поэтому требуется найти способы вторичного использования данного отхода.

Целью работы является исследование пигментных свойств данного отхода, который представляет собой в основном оксиды различных металлов, большую часть из которых составляет оксид железа (51,3–59,3%

мас.), а также исследование возможности применения данного отхода в качестве железоксидного пигмента.

В связи с тем, что в составе пигмента присутствует большое количество различных примесей было проведено исследование по определению количества водорастворимых солей в пигменте. Полученное в результате анализа значение 10% значительно превышает максимально допустимую величину, равную 1%.

Для определения состава примесей в данном пигменте было проведено исследование методом инфракрасной спектроскопии. Анализ проводился на инфракрасном спектрометре FT-801 с помощью приставки НПВО (неполного внутреннего отражения) с алмазным вкладышем в диапазоне $4000-500\text{ см}^{-1}$ (рис.1).

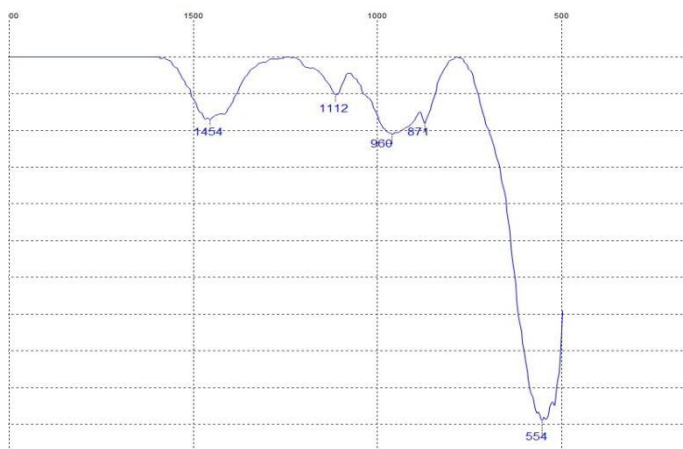


Рис. 1. ИК-спектр исследуемого пигмента

Полоса поглощения 554 см^{-1} соответствует оксиду железа (III). Полосы поглощения 1454 и 871 см^{-1} соответствуют карбонатам (CO_3^{2-}). Полоса поглощения 1112 см^{-1} соответствует сульфатам (SO_4^{2-}). Полоса поглощения 969 см^{-1} предположительно соответствует алюмосиликатам.

С целью уменьшения содержания водорастворимых примесей в пигменте проводилась его промывка дистиллированной водой. При сравнительном анализе ИК-спектров (рис. 2) до и после промывки установлено отсутствие полосы поглощения 1112 см^{-1} , характерной для сульфатионов и уменьшение интенсивности полосы 969 см^{-1} .

С целью уменьшения в составе карбонатов пигмент промывали в 2%-ном растворе соляной кислоты (см. рис. 2). Отсутствие полос поглощения 1454 и 871 см^{-1} на ИК-спектре пигмента после промывки доказыва-

вает их отсутствие, также пропала полоса поглощения 969 см^{-1} предположительно соответствующая алюмосиликатам.

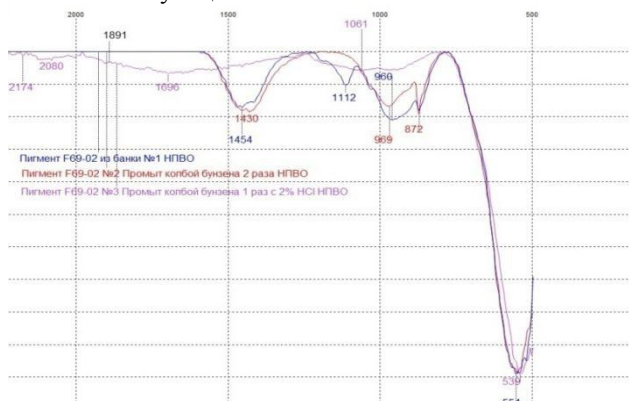


Рис. 2. ИК-спектр пигмента без промывки, промытого дистиллированной водой, а также 2%-ным соляным раствором

В связи с тем, что удалось значительно снизить количество примесей в пигменте в дальнейшем было необходимо изучить его пигментные свойства. Для сравнения защитных свойств составлялись эмали на основе акрилатного связующего и 3 видов пигмента: КЖОП, исследуемый пигмент и очищенный от примесей. Полученные покрытия выдерживались в 3%-ном растворе NaCl, а также в дистиллированной воде.

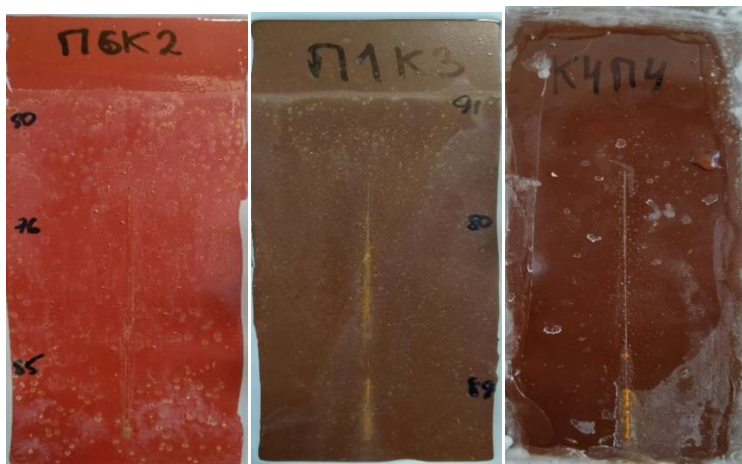


Рис. 3. результаты испытания покрытий в 3%-ном растворе NaCl (К2 – КЖОП, К3 – исследуемый пигмент, К4 – очищенный пигмент)

Как видно из рис. 3, покрытия «К3» и «К4» не имеют по истечению 3 суток пузырей по всему покрытию, в отличие от покрытий на основе КЖОП, но в покрытиях «К2» в месте надреза не имеется следов коррозии. На покрытии «К3» коррозия присутствует вдоль всего надреза, тогда как у покрытия «К4» коррозия имеется лишь на конце надреза. Отсюда можно делать вывод, что благодаря промывке пигмента удалось повысить защитные свойства пигмента. Также у покрытия «К4» заметно выше интенсивность цвета.

В результате проведенных исследований установлено, что после промывки от примесей данный отход можно использовать в качестве пигмента при изготовлении лакокрасочных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Горловский И.А.* Лабораторный практикум по пигментам и пигментированным лакокрасочным материалам / И.А. Горловский, Е.А. Индейкин, И.А.Толмачев. Л.: Изд-во «Химия», ленинградское отделение, 1990.
2. *Ермилов П.И.* Пигменты и пигментированные лакокрасочные материалы / П.И. Ермилов, Е.А. Индейкин, И.А. Толмачев. Л.: Изд-во «Химия», ленинградское отделение, 1987.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОКСИДА ТИТАНА С РАЗЛИЧНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЧАСТИЦ

Ю.Д. Смурова, А.Е. Терешко

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

Ярославский государственный технический университет

Исследовали различные марки диоксида титана, отличающиеся поверхностной обработкой частиц. Показали возможность их применения для получения водно-дисперсионных лакокрасочных материалов.

***Ключевые слова:** пигмент, водно-дисперсионные краски, диоксид титана, методы исследования, седиментация, размер частиц*

INVESTIGATION OF TITANIUM DIOXIDE WITH VARIOUS PARTICLE SURFACE TREATMENTS

Y.D. Smurova, A.E. Tereshko

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

Yaroslavl State Technical University

Various grades of titanium dioxide were studied, differing in the surface treatment of particles. The possibility of their application for the production of water-dispersion paints and varnishes has been shown.

***Keywords:** pigment, water-dispersion paints, titanium dioxide, research methods, sedimentation, particle size*

Пигмент – высокодисперсное порошкообразное красящее вещество, придающее материалам непрозрачность, цвет, противокоррозионные и другие свойства. Существует условное разделение красящих веществ на нерастворимые пигменты и растворимые в красильной среде (растворители), красители. Одним из самых распространенных на сегодняшний день пигментов является диоксид титана.

Диоксид титана (TiO_2) – амфотерный оксид четырёхвалентного титана. Он существует в виде нескольких модификаций. В природе встречаются кристаллы с тетрагональной сингонией (анатаз, рутил) и ромбической сингонией (брукит). Рутил и анатаз имеют разные кристаллические решетки и поэтому дают различные рентгенограммы. Брукит является неустойчивой модификацией и технического значения не имеет[1].

Искусственно получены ещё две модификации высокого давления — ромбическая IV и гексагональная V. Это твердое вещество белого цвета, нерастворимое в воде, хотя минеральные формы могут казаться черными. Также диоксид титана обладает такими свойствами как высокая разбеливающая способность, высокая атмосферо- и влагостойкость, хорошая укрывистость, хорошая совместимость с любым пленкообразователем, химическая стойкость, нетоксичность.

Как пигмент, он имеет широкий спектр применений, включая краску, солнцезащитный крем и пищевой краситель. Помимо этого, используется в производстве пластмасс, бумаги и резинотехнических изделий.

Целью работы является исследование свойств различных марок диоксида титана в водных средах.

Объектом исследования является диоксид титана марок, с поверхностной обработкой соединениями алюминия, кремния и циркония:

- 1) KRONOS 2310 ($Al_2O_3 + SiO_2 + ZrO_2$)
- 2) KRONOS 2160 ($Al_2O_3 + SiO_2$)
- 3) R-244 ($Al_2O_3 + ZrO_2$)
- 4) R-706 ($Al_2O_3 + SiO_2$)

Данные марки отличаются поверхностной обработкой частиц.

из важнейших показателей для водно-дисперсионных систем является Поскольку одним агрегативная устойчивость, на которую могут оказывать негативное влияние электролиты, присутствующие в системе, нами была изучена стабильность частиц диоксида титана в водных растворах электролита – хлорида натрия. Нами были приготовлены водные растворы хлорида натрия различной концентрации (0,2–1,5% мас.) и измерено распределение по размерам частиц диоксида титана в зависимости от концентрации электролита. Размер частиц определяли методом седиментации. Результаты представлены в табл. 1.

Как следует из данных табл. 1, для марок диоксида титана, обладающих изначально меньшим размером частиц (Kronos-2310, Kronos-2160) наблюдается укрупнение с ростом концентрации электролита, особенно для пигмента с обработкой поверхности частиц соединениями алюминия, кремния и циркона. Для диоксида титана, обладающего изначально размером частиц более 2 мкм присутствие электролита в системе, не оказывает влияние.

Таблица 1. Наивероятнейший размер частиц

Концентрация NaCl, % мас.	Размер частиц, мкм			
	Kronos-2310	Kronos-2160	R244	R706
0,2	0,5	1,1	2,7	1,3
0,5	0,7	0,9	2,1	1,4
1	0,7	1,1	2,1	1
1,5	1,1	1,4	2,2	1,3

Таким образом, показано, что поверхностная обработка и размер частиц диоксида титана влияют на агрегативную устойчивость водных дисперсий диоксида титана, что необходимо учитывать при производстве водно-дисперсионных лакокрасочных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беленький Е.Ф.* Химия и технология пигментов: учебное пособие для вузов / Е.Ф. Беленький, И.В. Рискин. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Химия, 1960. 756 с.
2. *Горловский И.А.* Лабораторный практикум по пигментам и пигментированным лакокрасочным материалам: учебное пособие для вузов / И.А. Горловский, Е.А. Индейкин, И.А. Толмачев. Л.: Химия, 1990. 239 с.
3. *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.

УДК 544.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПОЛИАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

А.В. Яковлева, Е.С. Иванова, В.А. Данилов

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

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Проведена полимеризация акриловой кислоты и исследованы её водные растворы. Определено содержание карбоксильных групп, выявлена зависимость относительной вязкости от рН, определена молекулярная масса полимера.

***Ключевые слова:** полиакриловая кислота, полимеризация, определение карбоксильных групп, потенциометрическое титрование, молекулярная масса*

STUDY OF AQUEOUS SOLUTIONS OF POLYACRYLIC ACID

A.V. Yakovleva, E.S. Ivanova, V.A. Danilov

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

Chuvash State University named after I.N. Ulyanova

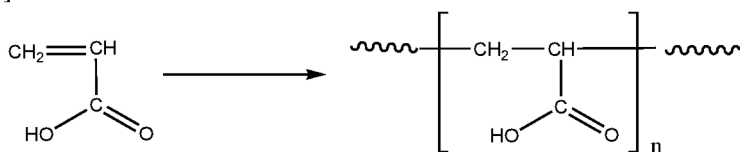
Polymerization of acrylic acid was carried out and its aqueous solutions were investigated. The content of carboxyl groups was determined, the dependence of relative viscosity on pH was revealed, and the molecular weight of the polymer was determined.

***Keywords:** polyacrylic acid, polymerization, determination of carboxyl groups, potentiometric titration, molecular weight*

Актуальность исследования связана с широким применением полиакриловой кислоты в различных областях, особенно в медицине. Полиакриловая кислота (ПАК) – бесцветный стеклообразный полимер, обладает высокой способностью к поглощению воды. Данный полимер является биологически инертным и может широко использоваться при изготовлении различных косметических средств. ПАК нашла применение в медицине в качестве вспомогательного материала при получении поликарбоксилатного цемента. Сополимеры ПАК с другими акрилатами служат основой для стоматологических ортопедических и протезных материалов.

Соли полиакриловой кислоты (полиакрилаты) имеют более широкую сферу применения, т.к. они характеризуются улучшенными физико-механическими свойствами. Полиакрилаты обладают большой термической стойкостью, что учитывается при получении прочных волокон с привитым слоем полиакриловой кислоты. Следует отметить, что ПАК нашла широкое применение в сельском хозяйстве, в промышленности в качестве флокулянта коллоидных растворов, а также в электронике в виде связующего компонента в аккумуляторах [1]. Поэтому актуальным является исследования физико-химических свойств водных растворов ПАК.

Полимеризацию акриловой кислоты проводили при 80°C в присутствии пероксидабензоиладо образования твердых полимеров белого цвета [2].



Из полученного полимера акриловой кислоты приготовили водные растворы различной концентрации, которые затем исследовали. Было определено содержание карбоксильных групп методом потенциометрического титрования. Содержание карбоксильных групп в полиакриловой кислоте составляет 2,7%.

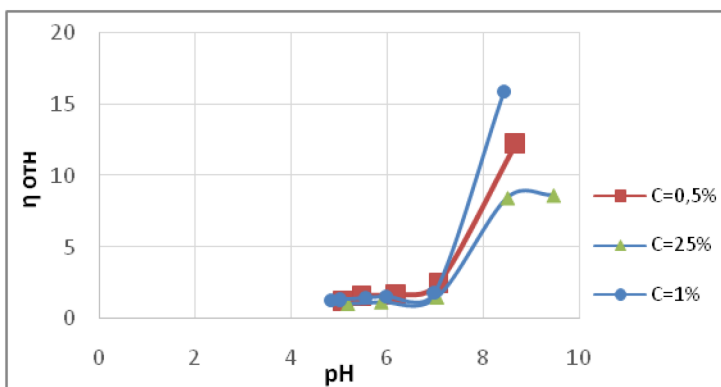


Рис. 1. Зависимость относительной вязкости разбавленных растворов ПАК от pH

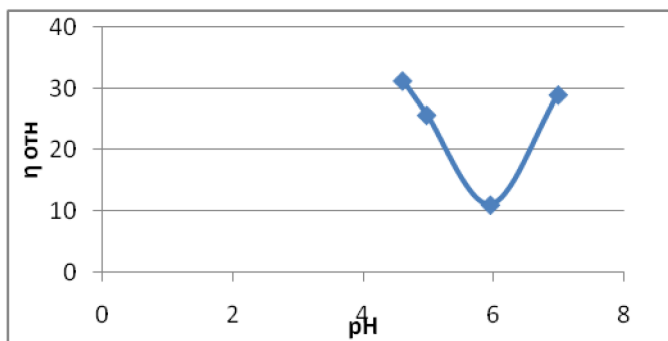


Рис. 2. Зависимость относительной вязкости 10%-ного раствора ПАК от pH

В работе была исследована зависимость относительной вязкости от pH. Для разбавленных растворов (0,25%, 0,5%, 1%) полиакриловой кислоты с изменением pH относительная вязкость увеличивается (рис. 1). Для 10%-ного раствора полиакриловой кислоты при изменении pH относительная вязкость уменьшается, но при достижении нейтральной среды начинает повышаться (рис. 2). Согласно [3], определили среднюю молекулярную массу полимеравискозиметрическим методом. Значение средней молекулярной массы составляет $MM=3,14 \cdot 10^4$. Полученные результаты можно учитывать при применении в промышленности водных растворов полиакриловой кислоты в качестве полиадсорбентов, источников комплексообразования, эмульгаторов и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Журавлева И.И.* Высокомолекулярные соединения. Часть VI. Синтетические полимеры: учебное пособие / И.И. Журавлева, В.А. Акопьян. Самара: Изд-во «Самарский университет», 2014. 528 с.
2. *Гауптман З.* Органическая химия / З. Гауптман, Ю. Грефе, Х. Ремане. М.: Химия, 1979. 803 с.
3. *Осовская И.И.* Практическая вискозиметрия: учебное пособие / И.И. Осовская, В.С. Антонова. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. 78 с.

АНАЛИЗ УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИЙ НАНЕСЕНИЯ ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

**Б.Н. Лихтинов, Д.А. Огородников, Д.А. Езжев,
А.С. Ключников**

Научный руководитель – **А.С. Ключников**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Анализируются автоматические линии для нанесения цинкового покрытия на изделия гальваническим методом. Такие линии имеют ряд недостатков, которые можно изучить в дальнейшем для оптимизации.

Ключевые слова: автоматическая линия, цинковое покрытие, гальванический метод, металл, ванна

TECHNOLOGY LEVEL ANALYSIS APPLICATION OF ZINC COATINGS

B.N. Likhtinov, D.A. Ogorodnikov, D.A. Yezhev, A.S. Klyuchnikov

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

Yaroslavl State Technical University

Automatic lines for applying zinc coating to products by electroplating are analyzed. Such lines have a number of disadvantages that can be studied further for optimization.

Keywords: automatic line, zinc coating, electroplating method, metal, bath

Ежегодно от 1 до 1,5% металла в мире безвозвратно теряется в результате коррозии [1]. Так, например, за 2021 год только российская промышленность выпустила 76 млн тонн стали [2]. Не трудно подсчитать, что потери металла могут достигать до 1 млн. тонн и больше. Для защиты стальных изделий применяют различные способы. Одним из таких способов является нанесение цинковых покрытий. Такое покрытие активно защищает основной металл изделия, жертвуя собой, так как в результате химических реакций с агрессивными элементами окружающей среды на

нём образуются соли и оксиды цинка. Слой продуктов реакции надежно защищает цинковое покрытие от влияния негативных факторов окружающей среды, тем самым обеспечивая длительную и надежную эксплуатацию самого цинкового покрытия.

Существует шесть основных методов оцинковки металла: горячее цинкование методом Кука Нортмана, метод горячего цинкования Сендземира, гальваническое цинкование, термодиффузное цинкование, газотермическое напыление цинка, холодное цинкование. Гальванический метод представляет собой электрохимический процесс, при котором происходит осаждение слоя металла на поверхности изделия. В качестве электролита используется раствор солей наносимого металла. Само изделие является катодом, и при прохождении тока через раствор соли положительно заряженные ионы металла направляются к катоду (изделию), в результате чего происходит электроосаждение металла. Нанесения цинка получило большее распространение благодаря высокой степени защищенности поверхности материала от коррозии.

Для использования гальванического метода нанесения покрытий на предприятиях применяются автоматические линии и стационарные линии [3-5]. Автоматические линии получили довольно большое распространение, так как предназначены для изготовления деталей в условиях крупносерийного и массового производства и являются основным средством решения задач комплексной автоматизации. В связи с продолжающейся реконструкцией и строительством новых заводов, с широким внедрением трудосберегающей и безлюдной технологии потребность в автоматических линиях непрерывно возрастает. Такие линии применяются на ПАО «Автодизель».

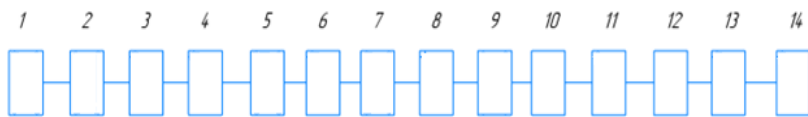


Рис. 1. Общий вид линии по нанесению цинковых покрытий на ПАО «Автодизель»

Автоматическая линия работает следующим образом. Подвеску, содержащую детали, захватывает манипулятор оператора и погружает в ванну 1 (рис. 1), где при температуре 15-30 °С происходит операция обезжиривания на катоде в течение 5-8 минут. Плотность тока в данной ванне составляет 3-10 А/дм². Далее оператор перемещает деталь в ванну 2, где при температуре 15-30 °С происходит операция обезжиривания на аноде в течение 4-5 минут. Плотность тока в данной ванне составляет 3-6 А/дм². После этого оператор перемещает деталь в ванну 3, где происхо-

дит промывка в горячей (70-90 °С) воде в течение 1 мин. Далее подвеску с деталями перемещает в ванну 4, где при цеховой температуре происходит промывка в холодной воде в течение 1 мин. Затем подвеску с деталями переносит в ванну 5, где при температуре 15-30 °С происходит травление в серной кислоте с ингибитором (1 мин). После этого детали дважды промывают холодной водой в ванне 6 (2 мин). Далее подвеску с деталями переносит в ванну 7, где при температуре 15-30 °С протекает операция активации в серной кислоте. Продолжительность составляет 15-30 с. Затем детали промывают холодной водой в ванне 8 на протяжении 1 минуты. После чего перемещает детали в ванну 9, где при температуре 18-30 °С происходит цинкование. Продолжительность операции 35 мин 24 с, плотность тока в ванне 12,5-20 А/дм². Следующие операция – промывка в холодной воде и улавливание. Её проводит в ванне 10 на протяжении 1 мин. После чего детали промывает холодной водой в ванне 11. Длительность операции 1 мин. В ванне 12 при температуре 18-25 °С производит операцию осветления и хроматирования. Продолжительность операции 15-60 с. После неё в ванне детали промывают холодной водой 13 (1 минута). В заключение детали промывают тёплой водой (40-60 °С) в ванне 14 на протяжении 1 мин. Общая продолжительность технологического процесса составляет 54,9–75,9 мин.

Автоматические линии дают высокую производительность и надёжны в работе, но имеют ряд недостатков, среди которых можно выделить следующие:

1. Существующие автоматические линии включают до 10 и более отдельных ванн, в следствие этого занимают значительную площадь. При расчёте новой автоматической линии под новую технологическую схему, размеры завода могут не подойти под длину новой линии. Для многих современных автоматических линий требуется создания новых заводов. В том числе поддержание уже существующих линий также требует больших затрат, а в результате аварии будет произведена остановка всей линии.

2. Помимо этого, из-за заполняемости ванн для промывок водой, идут большие расходы воды, а перемещение подвески между ваннами, носит дополнительные затраты энергии и ресурсов. Исключение лишних подвижных частей может значительно удешевить технологию, но в тоже время и усложнить её.

3. Требует сложной организации системы вентиляции для обеспечения требований к условиям труда рабочих.

Выводы. Аналитическое исследование уровня развития технологий нанесения цинкового покрытия гальваническим методом позволило выявить недостатки существующих автоматических линий. Работа над устранением которых позволит сократить требуемые для размещения

оборудования площади, повысить надёжность системы и улучшить условия труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скорость коррозии металла. URL: <https://dockerspb.ru/udalenie-rzhavchiny/skorost-korrozii-metalla>
2. *Сентюрин А.В.* О текущей ситуации и основных тенденциях в чёрной металлургии России. URL: https://russtal.ru/uploads/RSA_17.02.2022-PR.pdf
3. *Щепетова В.А.* Анализ технологического процесса гальванического производства на примере АО «ПОЭлектроприбор» / В.А. Щепетова, Д.А. Богданова // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2018. №4(17). С. 263-270.
4. *Толкачёв А.А.* Повышение коррозионной стойкости трубопроводов сельскохозяйственных ферм / А.А. Толкачёв, Д.А. Милованов, А.В. Чавдаров, П.Н. Першин // Технический сервис машин. 2018. Т. 133. С. 182-187.
5. Пат. № 2379382 Рос. Федерация: МПК С 25 D 19/00, С 23 С 18/00. Автоматическая линия для химических и гальванических покрытий / Хитрун В.Н., Бузанов С.В.: заявл. 02.04.2008. опубл. 20.01.2010. Бюл. № 2. 8 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ДИСПЕРСИЙ

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

Синтезированы водные полиуретановые дисперсии на основе изоцианат-содержащих форполимеров, полученных взаимодействием ароматического диизоцианата 2,4-толулендиизоцианата со сложными полиэфирами различного строения, с последующей модификацией форполимеров 1,6-гександиолом, ионным агентом – дигидроксиметилпропионовой кислотой, триэтиламино и водной смесью этиленамина с диэтаноломином. Для полученных водных полиуретановых дисперсий изучены физические свойства и коллоидная стабильность.

Ключевые слова: сложные полиэфиры, 2,4-толулендиизоцианат, изоцианатсодержащие форполимеры, модификаторы, водные полиуретановые дисперсии

STUDY OF WATER POLYURETHANE DISPERSIONS

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

Aqueous polyurethane dispersions based on isocyanate-containing prepolymers obtained by the interaction of aromatic diisocyanate 2,4-toluene diisocyanate with polyesters of various structures, followed by modification of the prepolymers with 1,6-hexanediol, an ionic agent - dihydroxymethylpropionic acid, triethylamine, and an aqueous mixture of ethyleneamine with diethanolamine, are synthesized. For the resulting aqueous polyurethane dispersions, the physical properties and colloidal stability were studied.

Keywords: polyesters, 2,4-toluene diisocyanate, isocyanate-containing prepolymers, modifiers, aqueous polyurethane dispersions

В настоящее время большинство производителей используют полимерные клеевые составы на основе агрессивных органических раство-

рителей [1]. Наряду с ними, все большее применение в качестве основы клеев находят водные полимерные дисперсии [2]. В работах [3-5] разработаны клеевые составы на основе водных полиуретановых дисперсий, обладающие атмосферостойкостью, водо-, масло- и солестойкостью и термостабильностью. Однако, в этих работах не исследована коллоидная стабильность дисперсий, которая является важным параметром, характеризующим сохранение свойств клеевых составов при длительном их использовании.

В качестве исходных веществ для получения изоцианатсодержащих форполимеров были выбраны сложные гидроксилсодержащие полиэфиры производства ЗАО «Блокформ»: полибутиленгликольадипинат П-515, полиэтиленбутиленадипинат П-532 и полиэтилентерефталатгликольадипинат П-9210. Синтез форполимеров осуществлялся путем взаимодействия полиэфиров (ПЭ) с избыточным количеством 2,4-ТДИ при мольных соотношениях 1:4, 1:5 и 1:6. При этом получали смесь форполимера с 2,4-ТДИ. По достижению расчетного содержания NCO-групп в систему вводились модификаторы - внутренний удлинитель (1,6-гександиол), ионный агент (триэтиламин), а расчетное количество смеси этиленамина и диэтанолamina в дистиллированной в воде.

После завершения подачи реагентов реакцию массу перемешивали в течение 40 мин при комнатной температуре и получали водные полиуретановые дисперсии. Для полученных дисперсий определяли вязкость, рН, коллоидную стабильность и массовую долю нелетучих веществ (МДНВ), значения которых приведены в таблице. Из данных таблицы видно, что экспериментально определенные и теоретически рассчитанные содержания NCO-групп в изоцианатсодержащих форполимерах имеют практически одинаковые значения. Причем форполимеры на основе полиэфиров П-515 и П-532 характеризуются меньшим содержанием изоцианатных групп по сравнению форполимером на основе полиэфира П-9192, т.к. полиэфиры П-515 и П-532 обладают большими молекулярными массами, чем полиэфир П-9192. Изменение соотношения полиэфир:2,4-ТДИ от 1:4 до 1:6 приводит к увеличению вязкости и уменьшению МДНВ с сохранением рН дисперсий практически на одинаковом уровне.

Полиуретановые дисперсии на основе модифицированных форполимеров, полученных взаимодействием полиэфиров П-515 и П-532 с 2,4-ТДИ, характеризуются коллоидной стабильностью. Полученные дисперсии по сравнению с исследованными в работах [3, 5] водными полиуретановыми дисперсиями обладают большей вязкостью и меньшим содержанием массовой доли нелетучих веществ.

Таблица 1. Свойства форполимеров и водных полиуретановых дисперсий

Поли- эфир	Форполимеры		Водные полиуретановые дисперсии			
	ПЭ:ТДИ	Содержание NCO- групп*, %	Вязкость, мПа·с	pH	Коллоидная стабильность	МДНВ, %
П- 515Т	1:4	9,6/9,2	1034,6	7,1	стабильна	48,2
	1:5	11,9/11,7	852,5	7,0	стабильна	49,3
	1:6	14,9/13,2	952,3	7,3	стабильна	49,6
П- 532Т	1:4	10,7/10,1	852,4	7,4	стабильна	56,5
	1:5	14,3/13,8	865,6	7,3	стабильна	57,2
	1:6	17,8/17,2	892,5	7,5	стабильна	58,3
П- 9210	1:4	20,6/19,9	150,4	7,2	не стабильна	86,5
	1:5	27,5/27,0	130,4	7,4	не стабильна	87,2
	1:6	34,3/33,7	135,2	7,6	не стабильна	88,5

* в числителе и знаменателе приведены содержания NCO-групп в изоцианатсодержащих форполимерах, определенные экспериментально и теоретически.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вильнав Ж.Ж. Клеевые соединения. М.: Техносфера. 2007. 384 с.
2. Фрейдун А.С. Полимерные водные клеи. М.: Химия. 1985. 144 с.
3. Голованова К.В. Синтез и физико-химические свойства водных полиуретановых дисперсий / К.В. Голованова, А.А. Табачков, С.В. Шилова, Л.А. Зенитова // Вестник технол. ун-та. 2017. Т. 20, № 13. С. 18-23.
4. Голованова К.В. Промышленное производство и применение водных полиуретановых дисперсий / К.В. Голованова, Д.Е. Михайлов, А.Ю. Маляшова, Л.А. Зенитова // Вестник технол. ун-та. 2017. Т. 20, № 14. С. 38-43.
5. Мищенко А.А. Разработка экологически эффективной полиуретановой дисперсии для водостойких покрытий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: Рос. хим.-технол. ун-т им. Д.И. Менделеева. 2014. 16 с.

УДК 665.753.4

УВЕЛИЧЕНИЕ ВЫРАБОТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

М.С. Белинов, О.В. Малышкина, В.С. Иванов, В.В. Соловьев

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

Ярославский государственный технический университет

Предлагается увеличить выработку компонентов дизельного топлива зимнего и дизельного топлива летнего.

Ключевые слова: технологическая схема, нефтепродукт, фракционный состав

INCREASE IN DIESEL FUEL PRODUCTION

M.S.Belinov, O.V. Malyshkina, V.S. Ivanov, V.V. Solovyov

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

Yaroslavl State Technical University

It is proposed to increase the production of winter diesel fuel components and summer diesel fuel.

Keywords: technological scheme, petroleum product, fractional composition

Зимнее дизельное топливо и летнее дизельное топливо это основные разновидности дизельного топлива, которые используют повсеместно в разных климатических условиях. Основные потребители дизельного топлива – это железнодорожный транспорт, грузовой автотранспорт, автобусы, водный транспорт, военная техника, дизельные электрогенераторы, сельскохозяйственная техника, а также легковой дизельный автотранспорт, военная техника. Кроме дизельных двигателей, остаточное дизельное топливо зачастую используется в качестве котельного топлива, для пропитывания кож, в смазочно-охлаждающих средствах и закалочных жидкостях, при механической и термической обработке металлов. Из этого можно сделать вывод, что дизельное топливо имеет широкое применение и на сегодняшний день является одним из самых актуальных источником энергии для многих устройств.

Вакуумная колонна К-901 на установке по производству базовых масел III группы ПАО «Славнефть-ЯНОС» [1] (далее УПМ-3) предназначена для разделения продуктов реакции на маловязкой основы для буровых растворов, легкое смазочное масло (2 сСт), среднее смазочное масло

(4сСт), тяжелое смазочное масло (6сСт) и кубовый продукт смазочное масло (8сСт). Испаренная вода и «капли» нефтепродукта по шлемовой линии К-901 конденсируются и поступают в емкость сбора конденсата Е-902. За счет внутренних перегородок в Е-902 происходит разделение на воду и нефтепродукт. Нефтепродукт (табл. 1) из емкости Е-902 насосами Р-909А/В направляется в линию некондиции с установки, и далее в линию №5001 в качестве сырья установки каталитического крекинга 1А-1М.

Таблица 1. Физико-химические характеристики потоков нефтепродукта, выводимых с УПМ-3 и ГОДТ

Установ-ка	Расход, т/ч	Фракционный состав				Температура помутнения, °С	Содержание серы, ppm
		НК, °С	30%, °С	50%, °С	КК, °С		
УПМ-3	0,64	157	-	188	245	-70	3–4
ГОДТ	2,1	110	160	-	300	-65	3–4

Характеристики потоков нефтепродукта позволяют их использовать в качестве компонента как зимнего так и летнего дизельного топлива.

Изменение схемы откачки нефтепродукта с УПМ-3 и установки гидроочистки дизельного топлива (далее ГОДТ)[2] позволит увеличить выработку летнего и зимнего дизельного топлива и получить экономический эффект.

Изменение схемы откачки нефтепродукта с ГОДТ позволит увеличить выработку зимнего дизельного топлива и получить экономический эффект за счёт разницы цены летнего и зимнего дизельных топлив.

Задачи:

1) разработка технологической схемы вовлечения фракций нефтепродуктов с установок ГОДТ и УПМ-3 в качестве компонентов зимнего и летнего дизельных топлив (рис. 1);

2) расчет экономической выгоды от вовлечения фракций нефтепродуктов с установок ГОДТ и УПМ-3 в качестве компонентов зимнего и летнего дизельных топлив (рис. 2).

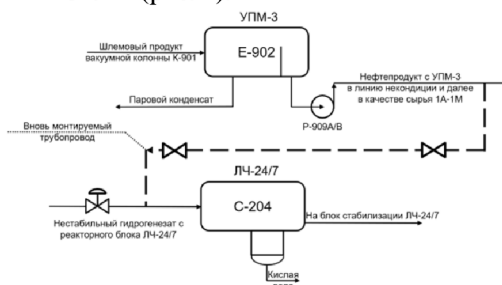


Рис. 1. Технологическая схема вывода дизельного топлива с установки УПМ-3

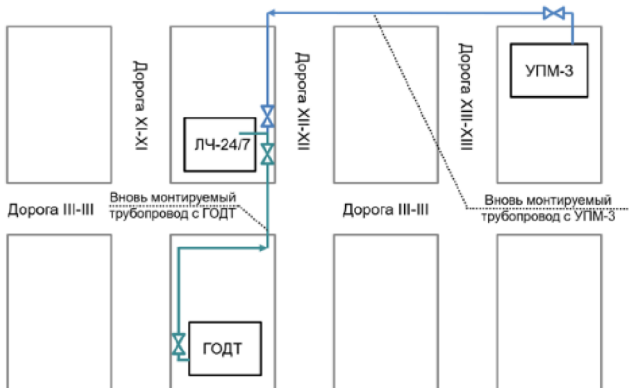


Рис. 2. Технологическая схема вывода дизельного топлива с установки УПМ-3 на ЛЧ-24/7

Предлагается выполнить схему откачки нефтепродукта из емкости Е-902 в сепаратор низкого давления С-204 II блока установки ЛЧ-24/7. Изменение схемы откачки позволит:

1. Исключить вовлечение лёгких компонентов в сырьё установки 1А-1М;
2. Круглогодично вовлечь поток фракции из Е-902 в качестве компонентов зимнего и летнего дизельного топлива;
3. Получить экономический эффект, за счёт вовлечения дополнительного количества в дизельное топливо.

Предполагаемый расход компонента дизельного топлива зимнего (далее ДТЗ) составит: $(0,64 \cdot 24 \cdot 365) / 2 = 2803$ т/6 мес.

Предполагаемый расход компонента дизельного топлива летнего (далее ДТЛ) составит: $(0,64 \cdot 24 \cdot 365) / 2 = 2803$ т/6 мес.

Стоимость ДТЗ – 44000 руб./т.

Стоимость ДТЛ – 40500 руб./т.

Дополнительная прибыль составит

$$2803 \cdot 44000 + 2803 \cdot 40500 = 236,8 \text{ млн. руб.}$$

Затраты на монтаж трубопровода составят порядка 6 млн. руб.

Окупаемость - менее 2 недель (табл. 2).

Таблица 2. Расчет срока окупаемости

Показатель	Установка	
	УПМ-3	ГОДТ
Стоимость реализации технологической схемы, млн. руб.	17,52	9,00
Экономический эффект, млн. руб. в месяц (зима/лето)	2,45/1,45	5,09/0
Срок окупаемости, лет	0,75	0,15

Изменение схемы откачки нефтепродукта с УПМ-3 и ГОДТ позволит исключить повторную переработку готового продукта и увеличить выработку компонентов дизельного топлива зимнего и дизельного топлива летнего, а также получить от этого экономическую выгоду.

Изменение схемы откачки нефтепродукта с УПМ-3 позволит исключить повторную переработку готового продукта и получить экономическую выгоду в размере 2,45 млн. руб. в месяц в течение периода выпуска зимнего дизельного топлива, и 1,45 млн. руб. в месяц в течение периода выпуска летнего дизельного топлива, при затратах на внедрение схемы в 17,5 млн. руб. Срок окупаемости менее года.

Изменение схемы откачки нефтепродукта с ГОДТ позволит исключить повторную переработку готового продукта и получить экономическую выгоду в размере 5,09 млн. руб. в месяц в течение периода выпуска зимнего дизельного топлива, за счёт разницы цены летнего и зимнего дизельных топлив, при затратах на внедрение схемы в 9 млн. руб. Срок окупаемости менее двух месяцев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Регламент установки по производству базовых масел III группы. ПАО «Славнефть-ЯНОС». Ярославль: ПАО «Славнефть-ЯНОС», 2017. 358 с.
2. Регламент установки гидроочистки дизельного топлива ПАО «Славнефть-ЯНОС». Ярославль: ПАО «Славнефть-ЯНОС», 2020. 451 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ
УСТАНОВКИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ
СЕРНИСТО-ЩЕЛОЧНЫХ СТОКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ
ПАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС»**

А.В. Белян, М.С. Белинов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев

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

Ярославский государственный технический университет

Сернисто-щелочные стоки на НПЗ топливного профиля образуются как в ходе основных технологических процессов, так и при очистке получаемых полупродуктов и продуктов. Многие из этих соединений вызывают нестабильность свойств нефтепродуктов при хранении и транспортировке, коррозию аппаратуры и т.д. Для удаления этих веществ используются различные методы очистки нефтепродуктов.

Ключевые слова: ПАО «Славнефть-ЯНОС», сернисто-щелочные стоки, качество очистки.

**INVESTIGATION OF THE MAIN PARAMETERS OF THE
OPERATION OF THE SULFUR-ALKALI WASTEWATER
NEUTRALIZATION PLANT AT THE SLAVNEFT-YANOS
PJSC ENTERPRISE**

A.V. Belyan, M.S. Belinov, L.M. Soboleva, V.V. Solovyov

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

Yaroslavl State Technical University

Sulfur-alkaline effluents at fuel profile refineries are formed both during the main technological processes and during the purification of the obtained intermediates and products. Many of these compounds cause instability of the properties of petroleum products during storage and transportation, corrosion of equipment, etc. To remove these substances, various methods of purification of petroleum products are used.

Keywords: Slavneft-YANOS PJSC, sulphurous-alkaline effluents, purification quality

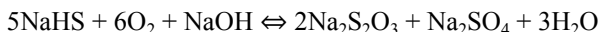
Сущность процесса обезвреживания сернисто-щелочных стоков (СЩС) и водных технологических конденсатов (ТК) заключается в адсорбции и последующем окислении сульфид-ионов до тиосульфат- и сульфит-ионов кислородом воздуха в присутствии катализатора. В качестве катализатора используется сорбционно-активная ткань марки ТСА. Катализатор обладает высокой химической и термической устойчивостью. Его каталитическая активность обусловлена наличием на поверхности ионов металлов переменной валентности. Процесс осуществляется при давлении 3-5 кгс/см² и температуре до 85 °С [1].

Окисление сульфида аммония идет по реакции



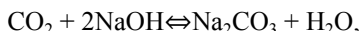
В результате реакции образуется тиосульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ и гидроксид аммония NH_4OH .

Окисление гидросульфида натрия идет по реакции



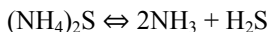
В результате реакции образуется тиосульфат натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, сульфат натрия Na_2SO_4 и вода.

Кроме того, углекислый газ (CO_2) в воздухе, подаваемом на окисление, связывается едким натром (NaOH) по реакции



с образованием карбоната натрия Na_2CO_3 и воды.

С отработанным воздухом уносится аммиак и сероводород, образующийся по реакции разложения сульфида аммония:



Влияние давления, температуры, объемной скорости и теплового эффекта на ход реакций, как показали предварительные исследования, является незначительным.

По этой причине при рассмотрении вопросов, связанных с анализом основных параметров работы установки нейтрализации СЩС на предприятии ПАО «Славнефть-ЯНОС», наибольшее внимание было уделено очистке нефтесодержащих сточных вод. Это объясняется достаточно высоким содержанием нефтепродуктов в таких водах, а, следовательно, перспективностью и экономической целесообразностью рекуперативных технологий в этой области. На сегодняшний день в мировой практике предлагаются к внедрению или уже внедрено достаточно большое количество таких технологий. Иначе обстоит дело с очисткой СЩС. Такие стоки являются химически загрязненными и при сравнительно небольших объемах имеют высокие концентрации биотоксикантов. Токсичность

таких стоков не позволяет сбрасывать их в водоемы или на грунт, даже после значительного разбавления. Специфический состав СЩС не позволяет собирать и очищать их вместе с остальными промышленными стоками НПЗ. Предприятие ПАО «Славнефть-ЯНОС» вынуждено было создать отдельную установку системы сбора СЩС и разработать узлы их очистки. Предварительный анализ работы такой установки на ПАО «Славнефть-ЯНОС» в первом приближении показал, что используемые на действующей установке методы очистки СЩС не являются экологичными и имеют невысокую эффективность, а катализатор практически не сможет справиться с нарастающим потоком кислотно-щелочных стоков при пуске установок глубокой переработке нефти.

В той связи представляется важным и практически значимым рассмотреть современное состояние проблемы очистки СЩС на большинстве предприятий нефтехимического профиля.

Известно, что жидкофазное каталитическое окисление сернистых соединений кислородом в менее токсичные продукты является одним из основных методов обезвреживания СЩС в нефтеперерабатывающих предприятиях. В этом процессе целесообразно использовать гетерогенные катализаторы, каталитически активные компоненты которых не уносятся с очищаемыми стоками, а носитель катализатора является устойчивым к воздействию щелочи и примесям нефтепродуктов, содержащихся в СЩС. Таким требованиям отвечает фталоцианиновый катализатор на полимерном носителе серии КС, используемый для обезвреживания сульфидсодержащих СЩС на предприятиях. Недостатком этого катализатора является относительно невысокая активность в реакции окисления сульфидов, обуславливающая длительность процесса обезвреживания концентрированных сульфидных СЩС и высокая стоимость фталоцианина кобальта, входящего в состав катализатора.

В связи с этим актуальным вопросом является разработка новых, более активных катализаторов очистки сернисто-щелочных сточных вод и изучение их структурных, физико-химических и каталитических свойств.

В статье обобщен опыт промышленной эксплуатации гетерогенных фталоцианиновых катализаторов сероочистки КС-1 и КС-2 на полимерной основе [2], углеродно-волоконистого катализатора очистки УВКО [3] и титанового катализатора очистки стоков ТИКОС в процессах локального окислительно-каталитического обезвреживания СЩС и водных технологических конденсатов (ТК) - процесс «ЛЮКОС».

Катализаторы КС представляют собой композиции фталоцианина кобальта с полиэтиленом высокого давления (КС-1) и с полипропиленом (КС-2). Они выполнены в виде удобных в эксплуатации насадочных элементов с развитой геометрической поверхностью и загружаются в

окислительный реактор одним слоем в навал, где выполняют одновременно роль насадки, способствующей улучшению массообмена между окисляемым водно-щелочным раствором и воздухом.

Катализатор УВКО представляет собой углеродно-волоконистую ткань с активным компонентом, которую для придания устойчивой формы и улучшения массообмена сворачивают в рулон совместно с металлической сеткой Рабица, играющей роль каркаса. Рулоны УВКО монтируют вертикально несколькими слоями по высоте колонного реактора.

Катализатор ТИКОС - это губчатый титан, изготовленный в виде колец Рашига диаметром 25-80 мм. Он засыпается в окислительный реактор внавал и выполняет в нем одновременно роль насадки и эффективного диспергатора газа-окислителя.

Таким образом, можно сделать заключение, что для регенерации меркаптидсодержащих щелочных растворов с установок де-меркаптанизации легкого углеводородного сырья, а также для обезвреживания смешанных сульфид- и меркаптидсодержащих СШС, из вышеописанных гетерогенных катализаторов предпочтительно использование фталоцианиновых катализаторов типа КС. Для обезвреживания сульфидсодержащих водных ТК может быть использован любой из названных катализаторов. Выбор того или иного катализатора для обезвреживания стоков должен решаться на основании исследований, связанных с моделированием процесса нейтрализации сернисто-щелочных стоков применительно к действующей на предприятии ПАО "Славнефть-ЯНОС" установке с учетом стоимости, эксплуатационных характеристик и удобства их эксплуатации в производственных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТР-301-2019. Блок регенерации сульфидсодержащих стоков установки «Производство серы». Ярославль: ПАО «Славнефть-ЯНОС», 2019. 106 с.
2. Обезвреживание сернисто-щелочных стоков на гетерогенном фталоцианиновом катализаторе / А.Г. Ахмадуллина [и др.] // Химия и технология топлив и масел. 1985. № 5. С. 36-38.
3. *Ахмадуллина А.Г.* Обезвреживание и использование сернисто-щелочных отходов нефтепереработки и нефтехимии. Обзорная информация / А.Г. Ахмадуллина, Ю.Р. Абдрахимов, И.Н. Смирнов. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1990. № 4. 52 с.

УДК 621.892.096

**ЭКОЛОГИЯ УСТАНОВКИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ
СЕРНИСТО-ЩЕЛОЧНЫХ СТОКОВ
ПАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС»**

А.В. Белян, М.С. Белинов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев

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

Ярославский государственный технический университет

В настоящей работе рассматриваются вопросы, связанные с использованием метода построения статистической модели процесса очистки углеводородного сырья и сточных вод с использованием отечественных гетерогенных катализаторов.

***Ключевые слова:** загрязнение окружающей среды, ПАО «Славнефть-ЯНОС», экологическая обстановка, сернисто-щелочные стоки, качество очистки.*

**ECOLOGY OF THE SULFUR-ALKALINE EFFLUENT
NEUTRALIZATION PLANT OF SLAVNEFT-YANOS PJSC**

A.V. Belyan, M.S. Belinov, L.M. Soboleva, V.V. Solovyov

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

Yaroslavl State Technical University

In this paper, the issues related to the use of the method of constructing a statistical model of the process of purification of hydrocarbon raw materials and wastewater using domestic heterogeneous catalysts are considered.

***Keywords:** environmental pollution, Slavneft-YANOS PJSC, ecological situation, sulfur-alkaline effluents, quality of purification.*

Известно, что процесс выбора оптимальных управленческих решений, обеспечивающих требуемое количество и качество очистки сернисто-щелочных стоков, обуславливает создание инструмента исследования, позволяющего выявить определенные критерии, которые в наибольшей степени влияют на основные технологические и экономические факторы работы промышленной установки. В тоже время процесс выбора оптимальных управленческих решений должен помочь установить

количественные зависимости показателей качества переработки кислотно-щелочных стоков в зависимости от их количества и углеводородного состава, а также от факторов, формирующих их образование.

Наиболее перспективным методом по обезвреживанию стоков установок технологических конденсатов (ТК) и сернисто-щелочных стоков (СЩС) считается метод локального окислительно-каталитического обезвреживания (процесс ЛОКОС). Процесс ЛОКОС основан на жидкофазном гетерогенно-каталитическом окислении кислородом воздуха токсичных сульфида и меркаптида натрия в более безопасные тиосульфат и сульфонат натрия.

К способам обезвреживания сернисто-щелочных стоков предъявляются следующие требования: минимальные затраты на процесс; достаточная производительность аппаратов обезвреживания; отсутствие вторичных источников загрязнения воздушного бассейна и окружающей среды; получение не загрязненных нефтепродуктами, щелочами и кислотами сточных вод, а также твердых остатков (сульфатсодержащего сырья), которые можно было бы использовать в народном хозяйстве [1]. Основные затраты на процесс обусловлены большим влагосодержанием стоков (80-86 %), вследствие чего расходуется большое количество энергии (главным образом тепловой). Как видно из представленных данных процесс очистки, проходящий на установке достаточно энергозатратен и трудоемок, особенно в плане его моделирования, так как предполагает использование различных сложных по углеводородному составу исходных веществ [2]. Причем при пуске новых установок глубокой переработки нефти и установки замедленного коксования проблемы моделирования и оптимизации действующей на предприятии установки только возрастут. К тому же резко увеличится количество СЩС и ТК, а также возрастут расходы всех используемых реактивов, катализаторов (вероятно нового типа) включая и энергетические затраты. Поэтому для разработки и последующего использования вероятного математического механизма функционирования установки при существующих и будущих нагрузках были введены ряд ограничений и допущений с целью получения адекватного математического алгоритма функционирования установки нейтрализации сернисто-щелочных стоков на ПАО «Славнефть-ЯНОС» на перспективу до 2040 года.

Рассмотрим основные этапы работы такого адаптивного алгоритма. Исследуемые факторы, которые только что были перечислены, в рамках допущений, как правило, ранжируются в зависимости от степени тесноты их связи с зависимой переменной, определяемой с помощью линейных коэффициентов корреляции и корреляционных отношений. Поэтому представим конкретный вид связи между зависимой переменной и изменяющимися факторами, а также аргументами, определяющимися на

множестве кривых, описываемых полиномами Колмогорова-Габор [3] применительно к конкретно действующей установке на ПАО «Славнефть-ЯНОС». В данном случае полином будет иметь следующий вид:

$$\varphi = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m a_{ijk} \cdot X_i \cdot X_j \cdot X_k + \dots \quad (1)$$

При этом факторы X_j , ($j=1,2,3, \dots, l$), для которых доказана значимость линейных коэффициентов корреляции $r_{x_{1y}}, r_{x_{2y}}, r_{x_{3y}}, \dots, r_{x_{ly}}$, включаются на первом этапе в линейные регрессионные модели. Переменные $X_{l+1}, X_{l+2}, \dots, X_m$, у которых линейная связь с зависимой переменной практически отсутствует, но соответствующие корреляционные отношения η_j показывают наличие криволинейной связи, используются впоследствии при построении нелинейных регрессионных моделей.

Результаты наблюдений по всем факторам разделяются на две последовательности: обучающую и проверочную. При этом строки матрицы исходных данных ранжируются по убыванию величины:

$$D_i = X_{i1}^2 + X_{i2}^2 + \dots + X_{im}^2 + Q_i^2, \quad (2)$$

где $X_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_{xj}}$, а $Q_i = \frac{y_i - \bar{y}}{\sigma_y}$.

Эта величина характеризует вариацию всех j -переменных ($j = 1, 2, 3, \dots, m$) в данном i -м наблюдении ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) и в проверочную последовательность включаются данные тех наблюдений, для которых эта вариация наименьшая. Обучающая последовательность используется для расчета коэффициентов регрессионного уравнения, а проверочная - для проверки адекватности модели.

На первоначальном шаге моделирования в соответствии с уравнением (1) в модель включается один фактор x_1 и определяются коэффициенты соответствующего регрессионного уравнения. На данных проверочной последовательности определяется ошибка аппроксимации модели, имеющая вид

$$\delta_k^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2}, \quad (3)$$

где \hat{y}_i - истинное значение зависимой переменной; y_i - расчетное значение зависимой переменной по k -му уравнению регрессии.

Полученное значение δ_k запоминается, а затем в уравнение регрессии включается вторая переменная из ранжированного ряда факторов, определяются новые коэффициенты регрессионной модели и ошибка δ_2 . Если $\delta_2 < \delta_1$ то расчет производится для следующей кривой из множества

(1). Таким образом, на каждом шаге моделирования рассчитываются параметры очередной регрессионной модели, вид которой соответствует уравнению (1), и процесс повторяется до тех пор, пока ошибка моделирования очередного шага не станет меньше предыдущей. Если же δ_k начинает возрастать, алгоритм заканчивает свою работу, и наилучшей считается модель, полученная на $k - 1$ шаге моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахмадуллина А.Г.* Обезвреживание и использование сернисто-щелочных отходов нефтепереработки и нефтехимии. Обзорная информация / А.Г. Ахмадуллина, Ю.Р. Абдрахимов, И.Н. Смирнов. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1990. № 4. 52 с.
2. Очистка сточных вод производства полисульфидных каучуков / С.В. Степанова [и др.] // Экология и промышленность России. 2003. № 5. С. 42-44.
3. Метод группового учёта аргументов. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ
МОДЕРНИЗАЦИИ УСТАНОВКИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ
СЕРНИСТО-ЩЕЛОЧНЫХ СТОКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ
ПАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС» С ЦЕЛЬЮ ПОСТРОЕНИЯ
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА**

А.В. Белян, М.С. Белинов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев

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

Ярославский государственный технический университет

В борьбе с загрязнением биосферы на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях основное внимание уделяется очистке сточных вод и газовых выбросов, а также ликвидации и обезвреживанию различных осадков, шламов и сернисто-щелочных стоков, количество которых должно резко возрасти, так как в Ярославле ПАО «Славнефть-ЯНОС» планирует до 2027 года построить в два этапа комплекс глубокой переработки нефти.

***Ключевые слова:** ПАО «Славнефть-ЯНОС», сернисто-щелочные стоки, качество очистки*

**DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC BASES OF TECHNICAL
MODERNIZATION OF THE SULFUR-ALKALI
WASTEWATER NEUTRALIZATION PLANT AT THE
SLAVNEFT-YANOS PJSC ENTERPRISE IN ORDER TO BUILD
A MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS**

A.V. Belyan, M.S. Belinov, L.M. Soboleva, V.V. Solovyov

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

Yaroslavl State Technical University

In the fight against pollution of the biosphere at oil refineries and petrochemical enterprises, the main attention is paid to the treatment of wastewater and gas emissions, as well as the elimination and neutralization of various sediments, sludge and sulfur-alkaline effluents, the number of which should increase sharply, since in Yaroslavl Slavneft-YANOS PJSC plans to build a complex in two stages by 2027 deep oil refining.

***Keywords:** Slavneft-YANOSPJSC, sulphurous-alkaline effluents, purification quality*

Предварительными исследованиями было показано, что качественные и количественные характеристики процесса кислотно-щелочной очистки на всех этапах ее создания зависят от свойств и углеводородного состава исходной нефти, от работы установок на которых она перерабатывается, от предметов труда, средств труда и самого труда, которые сами не имеют достаточно формализованных описаний.

В нефтеперерабатывающем производстве при наличии большого количества показателей, с помощью которых можно заранее оценить качество процесса очистки и затраченные на это материалы, факторы, влияющие на каждый из них, а также случайный характер проявления многих показателей процесса очистки (объемная скорость подачи сырья и реагентов, их концентрация, время и тип катализатора процесса очистки, температура и др.), а также невозможность получения и учета всей информации о реальном технологическом процессе щелочной каталитической очистки, приводят к необходимости создания адаптивного алгоритма построения статистической модели с последующей разработкой научных основ этого процесса для его внедрения на предприятии ПАО «Славнефть-ЯНОС».

Наиболее распространенным подходом в решении задачи построения математических моделей формирования качества очистки и количества перерабатываемого сырья, по мнению авторов настоящей работы, может явиться традиционный и широко используемый в практике - метод регрессионного анализа. Однако классический регрессионный анализ опирается на задаваемую исследователем по результатам предварительно проведенного анализа форму связи между зависимой переменной величиной и варьируемыми факторами. При учете того, что в разрабатываемой модели для всех реально существующих факторов, количество которых может насчитывать несколько десятков, этап проведения предварительного анализа их существенности становится очень громоздким, а выбор вида зависимости крайне затруднителен даже тогда, когда в модель включается всего 2 или 3 фактора.

Эта трудность может быть преодолена при использовании адаптивного алгоритма поиска и построения регрессионной модели, наилучшим образом аппроксимирующей реальный процесс [1]. При этом вид связи между зависимой переменной и изменяющимися факторами, а также аргументами определяется на множестве кривых, описываемых полиномами Колмогорова-Габора следующего вида.

Известно, что если степень полинома равна числу аргументов m , то число членов полного полинома будет равно $W = C - \sqrt{2m} - m$, и при разных m будет принимать значения 2, 6, 20, и т.д. Например, для двух аргументов x_1 и x_2 ($m=2$) полином Колмогорова-Габора как правило имеет шесть членов: , а так как для вычисления полного набора коэффициентов

полинома необходимо, как минимум, такое же количество экспериментальных точек, то эта задача на практике чаще всего остается неразрешимой. Чтобы доопределить задачу, необходимо либо априориприсвоить значение нуля некоторому подмножеству коэффициентов, либо записать полный степенной полином в виде многорядной системы полиномов с меньшим числом членов. В соответствии с этими двумя возможностями в теории метода группового учета аргументов применяются две основные структуры генерации множества моделей, оцениваемых затем по критерию селекции: комбинаторные (не пороговые) алгоритмы и многорядные (пороговые) алгоритмы, которые с некоторыми допущениями были использованы авторами настоящей работы для создания действующего математического алгоритма. В таких комбинаторных алгоритмах частные описания процесса получаются из полного полинома Колмогорова-Габора при помощи зануления тех или иных коэффициентов. Оставшиеся коэффициенты оцениваются с использованием всех имеющихся значений исходных и конечных данных по методу наименьших квадратов. Таким образом, прослеживается аналогия комбинаторного алгоритма с операцией исключения шаговой процедуры регрессионного анализа.

Для упрощения полинома Колмогорова-Габора и сокращения полного набора коэффициентов полинома до минимальных значений перед использованием его в дальнейших расчетах на ЭВМ было введено ряд допущений, которые не противоречили адекватности будущей математической модели:

1. Выбор полинома был обусловлен тем свойством, что согласно теореме Вейерштрасса, любую непрерывную на конечном интервале функцию можно со сколь угодно высокой точностью представить в виде полинома определенной степени. Сложность модели в таком случае определяется количеством коэффициентов a_{ij} .

2. Используя опорные функции математической модели, в ходе работы строились и выбирались различные варианты моделей для некоторых или всех аргументов исследуемой системы. Для этого строились полиномы с одной переменной, полиномы со всевозможными парами переменных, полиномы со всевозможными тройками переменных, и т.д, полином со всеми переменными. Для каждой модели определялись её коэффициенты $a_{ij} \dots, k$ методом регрессионного анализа.

3. Среди всех моделей выбирались несколько (от 2 до 5) наилучших. Качество моделей определялось при помощи среднеквадратической ошибки, или корреляцией полученных и исходных данных.

4. Если находилась достаточно "хорошая" модель или была достигнута максимально допустимая сложность моделей, то алгоритм заканчивался и признавался истинным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Schmidhuber Jürgen*. Deep learning in neural networks: An overview / Jürgen Schmidhuber // *Neural Networks*. 2015. Т. 61. С. 85—117.

СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СЕРНИСТО-ЩЕЛОЧНЫХ СТОКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС»

А.В. Белян, М.С. Белинов, Л.М. Соболева, В.В. Соловьев

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

Ярославский государственный технический университет

Вовлечение в переработку тяжелых высокосернистых углеводородных фракций на Ярославском НПЗ может привести к заметному увеличению объема водных сульфидосодержащих технологических конденсатов и щелочных стоков. Поэтому проблемой утилизации СЩС в последние годы озабочены как нефтегазовые компании, так и государство.

***Ключевые слова:** ПАО«Славнефть-ЯНОС», сернисто-щелочные стоки, качество очистки*

CREATION OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF NEUTRALIZATION OF SULFUR-ALKALINE EFFLUENTS AT THE SLAVNEFT-YANOS PJSC ENTERPRISE

A.V. Belyan, M.S. Belinov, L.M. Soboleva, V.V. Solovyov

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

Yaroslavl State Technical University

The involvement in the processing of heavy high-sulfur hydrocarbon fractions at the Yaroslavl refinery can lead to a noticeable increase in the volume of aqueous sulfide-containing process condensates and silk effluents. Therefore, in recent years, both oil and gas companies and the state have been concerned about the problem of disposal of SHS.

***Keywords:** Slavneft-YANOSPJSC, sulphurous-alkaline effluents, purification quality*

Продemonстрируем работу алгоритма при построении математической модели зависимости объема входа, загрязненного, и выхода очищенного продукта, при поступлении стоков с различных установок неф-

теперерабатывающего производства (имеющихся и планируемых к строительству и вводу в эксплуатацию), для которой объемные показатели являются одними из определяющих показателей качества их работы. Так, например, при исследовании зависимости объема исходного (x_2) и очищенного сульфатно-щелочного стока (x_5) от других показателей (x_1, x_3 и т.д.) в рассмотрение попадает 9 факторов (табл. 1).

Таблица 1. Основные показатели процесса очистки сульфатно-щелочных стоков ПАО «Славнефть ЯНОС»

Показатели	Обозначение показателя	Коэффициент корреляции
Объем воздуха на окисление	x_1	0,1675
Объем СПС на очистку	x_2	0,4492
Объем газа на утилизацию	x_3	0,2634
Объем реакционной воды	x_4	0,0536
Объем очищенного СПС	x_5	0,4585
Объем сульфата натрия Na_2SO_4	x_6	0,1432
Объем карбоната натрия Na_2CO_3 тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	x_7	0,1541
Объем тиосульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ и гидрокси аммония NH_4OH	x_8	0,1714
Объем аммиака и сероводорода	x_9	0,0513

Регрессионное уравнение на первом шаге моделирования включает только один фактор x_5 и имеет вид: $y = 2,23 \cdot 10^{-4} \cdot x_5 - 15$.

Ошибка аппроксимации: $|\delta_1|^2 = 0,00702$.

На втором шаге моделирования в уравнение добавляется еще один фактор x_2 и уравнение имеет вид: $y = 3,86 \cdot 10^{-1} \cdot x_2 + 0,15 \cdot 10^{-7} \cdot x_5 - 12$.

Ошибка аппроксимации: $|\delta_2|^2 = 0,00618$.

На третьем шаге уравнение содержит три фактора и имеет следующий вид: $y = 3,84 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 + 0,16 \cdot 10^{-9} \cdot x_5 + 0,0059 \cdot x_8 - 12 + 0,0012 \cdot x_9 - 13$.

Ошибка аппроксимации $|\delta_3|^2 = 0,00616$.

При включении в модель фактора x_4 получаем ошибку $|\delta_4|^2 = 0,00619$ ($\delta_4 > \delta_3$), поэтому наилучшей считаем модель, полученную на третьем шаге моделирования. Этот вывод согласуется с выводами, полученными и из анализа степени тесноты связи факторов с зависимой переменной. Используя, например, критерий Стьюдента, с вероятностью 0,95 можно утверждать, что коэффициенты корреляции

незначимы, и поэтому соответствующие факторы можно не учитывать в регрессионной модели.

Таким образом, полученная модель в первом приближении позволяет предположить, что действующая установка очистки щелочных стоков и технологических конденсатов при мощности в 1,5 раза превышающую сегодняшнюю может справиться с очисткой СЩС и технологических конденсатов (ТК). Не вдаваясь в сложные технологические моменты её функционирования рассмотрим описание принципиальной технологической схемы установки окисления сернисто-щелочных сточных вод кислородом воздуха с использованием различных гетерогенных катализаторов, отечественного производства. Схема представлена на рис. 1.

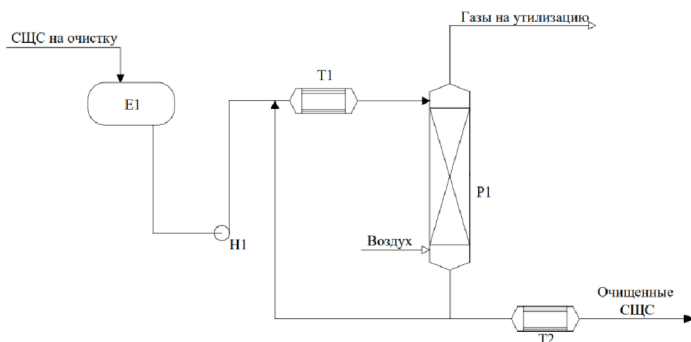


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема обезвреживания СЩС в присутствии различных гетерогенных катализаторов

СЩС и ТК, отделенные от нефтепродуктов и механических примесей, из усреднительной емкости E1 подаются насосом Н1 в теплообменник Т1, где подогреваются до температуры реакции, а затем направляются в реактор с гетерогенным катализатором Р1. В качестве катализатора могут быть рекомендованы: гетерогенные фталоцианиновые катализаторы сероочистки КС-1 и КС-2 на полимерной основе; углеродно-волоконистый катализатор очистки УВКО; титановый катализатор очистки стоков ТИКОС - процесса «ЛОКОС». В кубовую часть реактора подается воздух под давлением от 0,6 до 0,8 МПа. Давление в реакторе поддерживается около 0,5 МПа. Окисленные СЩС и ТК с верхней части реактора поступают в дегазатор. Отработанный воздух с верха направляется в печь дожигания, а СЩС с кубовой части емкости – в емкость обезвреженных стоков.

При такой технологической схеме установка способна работать даже в напряженном режиме, однако основным недостатком предлагаемого алгоритма является то, что при включении каждого нового члена в технологическую цепочку (включая новый тип или вид катализатора) регрессионное уравнение приходится пересчитывать и получать все коэффициенты уравнения заново. Однако даже при этом затраты машинного времени на реализацию программы невелики и не являются существенной помехой применения данного метода. Достоинство предлагаемого алгоритма, на наш взгляд, состоит в том, что при большом количестве факторов-аргументов он помогает установить характер их связи с зависимой переменной и позволяет сократить размерность модели без существенной потери точности.

К недостаткам данного метода относятся высокая стоимость и низкая удельная поверхность катализатора, что приводит к увеличению объема его загрузки, необходимости периодической регенерации или замены катализатора, в случае резкого увеличения подачи сырья на установку из-за ввода комплекса глубокой переработки нефти и стоков с установки замедленного коксования. Также к недостаткам имеющейся на предприятии установки следует отнести высокую стоимость химических реагентов для проведения процесса (преимущественно импортных) и потерю значительного количества ценных продуктов. К ним относятся: тиосульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ и гидроокись аммония NH_4OH , карбонат натрия Na_2CO_3 , тиосульфат $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ и сульфат натрия Na_2SO_4 , содержание которых в очищенном водном потоке должно постоянно контролироваться и не превышать допустимые санитарные нормы [1, 2]. К сожалению, при пуске установок по глубокой переработке нефти и процесса коксования содержание солей будет явно превышено, что предполагает строительство дополнительного блока выделения этих продуктов [3] или полную модернизацию технологии процесса очистки щелочных стоков задействованной на предприятии ПАО «Славнефть-ЯНОС».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФЗ № 52 «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». М.: Собрание законодательства РФ, № 14. 1999. Ст. 16.
2. Ксандопуло С.Ю. Перспективы очистки стоков нефтеперерабатывающих заводов в целях сохранения качества окружающей среды/ С.Ю. Ксандопуло, С.П. Шурай, А.В. Барко // Санитарный врач. 2009. № 12. С. 25-33.
3. Проскуряков В.А. Очистка сточных вод в химической промышленности /В.А. Проскуряков, Л.И. Шмидт. Л.: Химия, 1977. 464 с.

УДК 66.074

ОСАЖДЕНИЕ ЧАСТИЦ В ПОЛЕ СИЛ ТЯЖЕСТИ И В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

**А.О. Долинина, А.М. Мальцева, М.С. Шалабанова,
В.К. Леонтьев**

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

Ярославский государственный технический университет

Выполнен расчет технологических и конструктивных параметров циклона и пылесадительной камеры при осаждении в них твердых частиц одинакового размера. Проведено сравнение геометрических размеров и гидравлического сопротивления циклона и пылесадительной камеры.

***Ключевые слова:** циклон, пылесадительная камера, скорость осаждения, гидравлическое сопротивление*

DEPOSITION OF PARTICLES IN THE FIELD OF GRAVITY AND IN FIELD OF CENTRIFUGAL FORCES

**A.O. Dolinina, A.M. Maltseva, M.S. Shalabanova,
V.K. Leontiev**

Scientific Supervisor - **V.K. Leontiev**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The calculation of technological and design parameters was carried out cyclone and dust settling chamber when solid particles are deposited in them the same size. Comparison of geometric dimensions and hydraulic resistance of the cyclone and dust settling chamber.

***Keywords:** cyclone, dust settling chamber, sedimentation rate., hydraulic resistance*

Разделение гетерогенных систем производится с целью удаления частиц из газов или жидкостей для их очистки или выделения ценных компонентов. Методы разделения гетерогенных систем - различны, зависят от системы, физических свойств фаз (вязкость, плотность), размеров,

концентраций дисперсной фазы. Они применяются практически на всех промышленных предприятиях, в том числе в машиностроении, химической промышленности, теплоэнергетике, металлургии и др. Однако не все аппараты обеспечивают эффективное пылеулавливание. В связи с этим ученые разрабатывают новые пылеуловители, в которых повышение эффективности достигается путем комбинирования различных способов осаждения пыли.

При осаждении происходит разделение гетерогенных систем под действием силы тяжести, центробежной силы, электростатических сил в следующих процессах:

- отстаивание;
- разделение в циклонах, отстойное центрифугирование;
- электроочистка.

Простейшим пылеулавливающим устройством является пылеосадительная камера. Она представляет собой пустотелый или с вертикальными полками во внутренней полости прямоугольный короб, в нижней части которого имеется отверстие или бункер для сбора пыли. Применяется для грубой очистки сухой грубодисперсной пыли с достаточной плотностью из горизонтальных и вертикальных газовых потоков. Скорость газа в камере составляет 0,2-1,5 м/с, гидравлическое сопротивление 50–150 Па. Степень очистки не превышает 40–50 %.

Для осадений тонких фракций пыли в камере должно быть обеспечено ламинарное движение воздуха (есть еще турбулентное т.е. вихревое). Для этого она должна иметь большую длину, что трудно в реализации. Поэтому для увеличения эффекта пылеотделения устанавливают внутри камеры вертикальные перегородки.

Конструкция пылеосадительной камеры представлена на рис. 1.

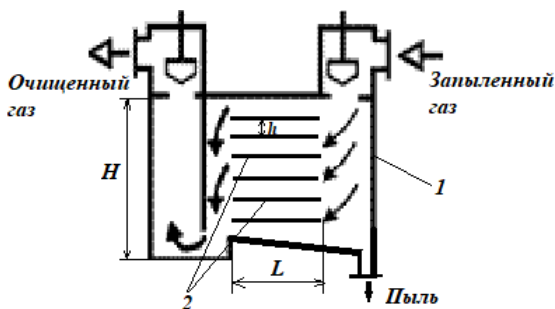


Рис. 1. Конструкция пылеосадительной камеры:

1 – корпус; 2 – полки

Достоинства пылеосадительной камеры заключаются в том, что она проста и дешева в эксплуатации, имеет низкое гидравлическое сопротивление. Недостаток – громоздкость конструкции и низкая степень очистки.

Для интенсификации процесса осаждения его проводят под действием центробежной силы. Для создания центробежных сил используют: 1) вращательное движение потока в неподвижных аппаратах (циклонах); 2) вращательное движение потока вместе с аппаратом (центрифуги). Физическая сущность процесса осаждения под действием центробежной силы заключается в том, что во вращающемся потоке на частицу действует центробежная сила, направляющая ее от центра к периферии.

Наиболее простым аппаратом для осаждения твердых частиц в поле центробежных сил является циклон. Конструкция циклона представлена на рис.2.

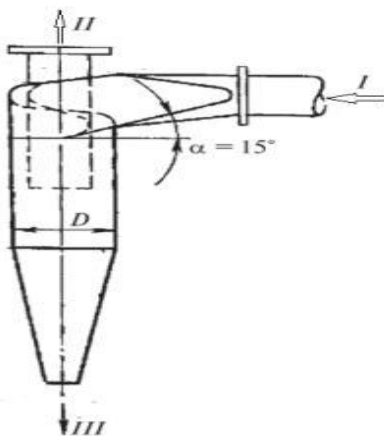


Рис. 2 Конструкция циклона ЦН–15:

I – вход запыленного газа; II – выход очищенного газа; III – выход пыли

Целью работы является сравнение процесса осаждения твердых частиц одинакового размера в поле сил тяжести (в пылеосадительной камере) с процессом осаждения в поле центробежных сил (в циклоне).

Для расчетов был выбран циклон ЦН– 5 диаметром $D_y = 600$ мм. Степень улавливания твердых частиц диаметром $d_q = 15$ мкм с плотностью $\rho_q = 2300$ кг/м³ в нем составляет 98% при $\Delta p/\rho = 740$ м²/с² [1].

Задаем скорость движения газовой фазы в циклоне $v_\phi = 3,0$ м/с [2]. Тогда объемный расход газовой фазы через циклон составит

$$Q = \frac{v_{\Phi} * \pi * D^2}{4} = \frac{3 * 3,14 * 0,6^2}{4} = 0,85 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (1)$$

При температуре 20 °С плотность воздушного потока $\rho = 1,206 \text{ кг/м}^3$ и динамическая вязкость $\mu = 18 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Гидравлическое сопротивление циклона составит $\Delta p = 740 \cdot 1,206 = 892,4 \text{ Па}$.

Выполним расчет размеров пылесадительной камеры для осаждения твердых частиц диаметром 15 мкм с плотностью $\rho_{\text{ч}} = 2300 \text{ кг/м}^3$.

Задаемся шириной и высотой пылесадительной камеры $B = 2,0 \text{ м}$, $H = 2 \text{ м}$. Принимаем расстояние между полками $h = 100 \text{ мм}$. Чтобы частицы диаметром $d_{\text{ч}} = 15 \text{ мкм}$ с плотностью $\rho_{\text{ч}} = 2300 \text{ кг/м}^3$ осели на полке необходимо, чтобы скорость осаждения одиночной частицы была равной [1].

$$v_{oc} = \frac{\frac{1}{18} * d^2 * \rho_{\text{ч}} * g}{\mu} = \frac{\frac{1}{18} * (15 * 10^{-6})^2 * 2300 * 9,81}{18,1 * 10^{-6}} = 0,016 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2)$$

Действительную скорость осаждения принимается половина от скорости осаждения одиночной частицы

$$v_{oc} = 0,5 * v_{oc} = 0,5 * 0,016 = 0,008 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (3)$$

Время осаждения частицы

$$\tau = \frac{h}{v_{oc}} = \frac{0,1}{0,008} = 12,5 \text{ с} \quad (4)$$

Скорость, с которой должны двигаться частицы вдоль полок составит

$$v_{\text{ч}} = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{B * H} = \frac{0,85}{2 * 2} = 0,2125 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (5)$$

Тогда длина полок (пылесадительной камеры) будет

$$L = \tau * v_{\text{ч}} = 12,5 * 0,2125 = 2,66 \text{ м} \quad (6)$$

В результате работы был выполнен расчет технологических и конструктивных параметров циклона и пылесадительной камеры при осаждении в них твердых частиц одинакового размера. Геометрические размеры пылесадительной камеры весьма значительны. Объем пылесадительной камеры почти в 30 раз больше, чем объем циклона. Гидравлическое сопротивление пылесадительной камеры меньше, чем циклона, но сама величина гидравлического сопротивления циклона мала (менее 0,01 ат).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Павлов К.Ф.* Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. 13-е изд. М.: Альянс, 2005. 576 с.
2. *Гордон Г.М.* Пылеулавливание и очистка газов / Г.М. Гордон, И.Л. Пейсахов. Изд. 2-е. М.-Л., «Металлургия», 1968. - 499 с.

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЕ В ДНЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА ПРИ ПЕРЕМЕННОМ НАПОРЕ

И.М. Зарубин¹, В.К. Леонтьев²

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

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ», им. В. И. Ульянова (Ленина)

²Ярославский государственный технический университет

*Рассмотрен процесс истечения жидкости при переменном напоре из
горизонтального цилиндрического резервуара.*

Ключевые слова: отверстие, насадок, истечение жидкости, переменный
напор, время истечения

THE OUTFLOW OF LIQUID THROUGH A HOLE IN THE BOTTOM OF A HORIZONTAL CYLINDRICAL TANK AT VARIABLE PRESSURE

I.M. Zarubin, V.K. Leontiev

Scientific Supervisor - **V.K. Leontiev**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

¹Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”

²Yaroslavl State Technical University

*The process of fluid outflow at variable pressure from a horizontal cylindrical
tank is considered.*

Keywords: hole, nozzle, fluid outflow, variable pressure, expiration time

При истечении жидкости через отверстие и насадок при переменном уровне скорость истечения жидкости уменьшается во времени, и время ее истечения оказывается больше времени истечения такого же объема жидкости при постоянном уровне $H=\text{const}$.

Если по всей высоте сосуда площадь его поперечного сечения постоянна $S_{coc} = \text{const}$, время истечения жидкости через выпускное отверстие сечением S_0 от уровня H_1 до уровня H_2 составит (рис. 1):

$$\tau = \frac{2S_{coc} \cdot (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\mu_p S_0 \sqrt{2g}}. \quad (1)$$

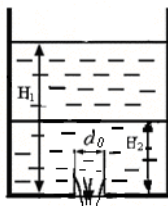


Рис. 1. Истечение жидкости через отверстие при переменном уровне жидкости в резервуаре

При полном опорожнении сосуда формула упрощается, так как $H_2 = 0$ [1-3].

$$\tau = \frac{2S_{coc} \cdot \sqrt{H}}{\mu_p S_0 \sqrt{2g}}. \quad (2)$$

В технике часто встречаются случаи, когда $S_{coc} \neq \text{const}$. Горизонтальные цилиндрические резервуары (цистерны) широко применяются на нефтебазах и пунктах хранения нефтепродуктов вследствие своей транспортабельности. Горизонтальные цилиндрические резервуары предназначены для хранения нефтепродуктов под избыточным давлением (до 0,2 МПа) и сжиженных газов (под давлением до 1,8 МПа и более). В таких резервуарах при понижении температуры возможен вакуум (до 0,1 МПа). Емкости цистерн имеют различные устройства для загрузки (выгрузки), различающиеся в зависимости от перевозимого груза.

Целью данной работы является исследование процесса истечения жидкости из горизонтальной цилиндрической емкости при переменном напоре.

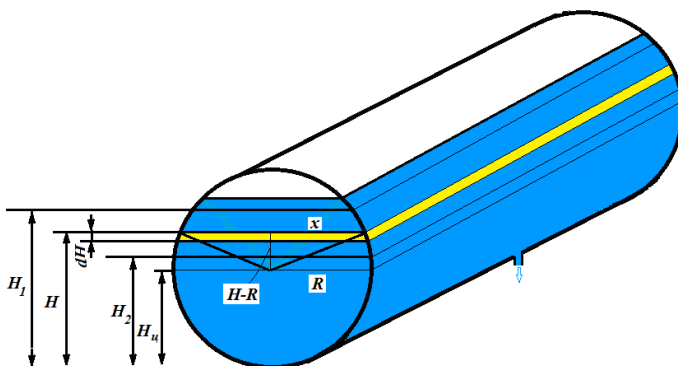


Рис. 2 – Истечение жидкости через отверстие при переменном уровне жидкости из резервуара переменного сечения

Необходимо определить время, за которое уровень жидкости понизится от H_1 до H_2 .

Пусть в произвольный момент времени уровень жидкости равен H . Площадь поперечного сечения резервуара в этом сечении S с внутренним диаметром D . В этот момент времени расход жидкости равен

$$Q_{\partial} = \mu_p \cdot S_0 \cdot \sqrt{2gH} \quad (3)$$

За время $d\tau$ из емкости вытечет объем жидкости

$$dV = \mu_p \cdot S_0 \cdot \sqrt{2gH} d\tau \quad (4)$$

Этот же объем можно выразить

$$dV = -S \cdot dH \quad (5)$$

Приравниваем правые части выражений (4) и (5)

$$\mu_p \cdot S_0 \cdot \sqrt{2gH} d\tau = -S \cdot dH$$

Выражаем $d\tau$

$$d\tau = -\frac{S}{\mu_p \cdot S_0 \cdot \sqrt{2gH}} \cdot dH \quad (6)$$

$$S = 2 \cdot x \cdot L$$

$$x = \sqrt{R^2 - (H - R)^2} = \sqrt{R^2 - (H^2 - 2HR + R^2)} = \sqrt{2HR - H^2}$$

После подстановки

$$d\tau = - \frac{2L}{\mu_p \cdot S_0 \cdot \sqrt{2g}} \cdot (2R - H)^{\frac{1}{2}} dH$$

Интегрируем

$$\tau = \frac{4}{3} \frac{L}{\mu_p \cdot S_0 \cdot \sqrt{2g}} \cdot (2R - H)^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

Окончательно время истечения жидкости через выпускное отверстие сечением S_0 от уровня H_1 до уровня H_2 составит

$$\tau = \frac{4}{3} \frac{L}{\mu_p \cdot S_0 \cdot \sqrt{2g}} \cdot \left[(2R - H_1)^{\frac{3}{2}} - (2R - H_2)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (8)$$

При полном опорожнении сосуда ($H_2 = 0$) время рассчитывается по выражению

$$\tau = \frac{4}{3} \frac{L}{\mu_p \cdot S_0 \cdot \sqrt{2g}} \cdot (2R - H_1)^{\frac{3}{2}} \quad (9)$$

В результате данной работы рассмотрен процесс истечения жидкости при переменном напоре из горизонтального цилиндрического резервуара. Получено выражение для расчета времени истечения жидкости через выпускное отверстие сечением от уровня H_1 до уровня H_2 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Башта Т.М.* Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев. М.: Машиностроение, 1982. 423 с.
2. *Рабинович Л.Л.* Гидравлика. М.: Недра, 1974. 266 с.
3. *Павлов К.Ф.* Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. 13-е изд. М.: Альянс, 2005. 576 с.

УДК 621.671

**ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА
НА ДЕЙСТВИТЕЛЬНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ
НАСОСА - НАПОР**

А.Н. Карпова, И.Д. Карпухно, О.Н.Кораблева

Научный руководитель – **О.Н. Кораблева**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрено влияние конструктивных параметров центробежного колеса центробежного насоса на действительные характеристики насоса – напор, мощность, коэффициент полезного действия. Представлены основные принципы подбора насосного оборудования. Определены точки материального и энергетического равновесия системы при изменении конструктивных параметров рабочего колеса.

Ключевые слова: центробежный насос, рабочая точка, напор, подача, коэффициент полезного действия, рабочее поле насоса

**THE INFLUENCE OF THE DESIGN PARAMETERS
OF THE IMPELLER OF A CENTRIFUGAL PUMP
ON THE ACTUAL CHARACTERISTIC
OF THE PUMP - HEAD**

A.N. Karpova, I.D. Karpukhno, O.N. Korableva

Scientific Supervisor – **O.N. Korableva**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor;

Yaroslavl State Technical University

The influence of the design parameters of the centrifugal wheel of a centrifugal pump on the actual characteristics of the pump – head, power, efficiency is considered. The basic principles of selection of pumping equipment are presented. The points of material and energy equilibrium of the system are determined when the design parameters of the impeller change.

Keywords: centrifugal pump, working point, head, feed, efficiency, pump working field

В различных областях промышленности важное значение имеет транспортировка жидких продуктов по трубопроводам и каналам. Для того, чтобы жидкость двигалась по трубопроводам, преодолевала гидравлические сопротивления, поднималась на определенную высоту, она должна получать энергию. Насос - гидравлическая машина, преобразующая механическую энергию приводного двигателя в энергию потока жидкости [1].

Самыми распространенными насосами динамического действия являются насосы центробежные. Благодаря своей конструкции и стабильной работе насосы данного типа используются для решения задач транспортировки потоков основных технологических процессов в самых различных отраслях промышленности. Всасывание и нагнетание жидкости в центробежных насосах происходит равномерно и непрерывно, под действием центробежной силы, возникающей при вращении рабочего колеса. В одноступенчатом центробежном насосе жидкость из всасывающего трубопровода поступает в корпуснасоса и, попадая на лопатки рабочего колеса, приобретает вращательное движение. Под действием центробежной силы жидкость перемещается из канала рабочего колеса в корпус, происходит резкое снижение скорости, в результате чего кинетическая энергия жидкости превращается в потенциальную энергию давления, необходимого для подачи жидкости на заданную величину [2].

Для надежной эксплуатации и подбора центробежного насоса необходимо знать, как изменяются основные параметры насоса (напор, мощность и коэффициент полезного действия) в зависимости от подачи т.е. количества жидкости, подаваемой насосом в нагнетательный трубопровод. Зависимости между этими параметрами принято изображать графически на одном рабочем поле. Действительные характеристики центробежного насоса учитывают потери энергии. Универсальные рабочие характеристики насоса (топографические характеристики) центробежного используются для определения числа оборотов, которое характеризуется максимальным коэффициентом полезного действия (рис. 1) [3]. Восходящая штриховая линия соответствует высшему (максимальному) значению коэффициента полезного действия. Кривые, показанные на характеристиках насоса сплошными линиями, соответствуют нормальному диаметру рабочего колеса, кривые, показанные пунктирными линиями – рабочему колесу, обточенному по внешней окружности. Обточка рабочих колес центробежного насоса позволяет расширить область использования насоса.

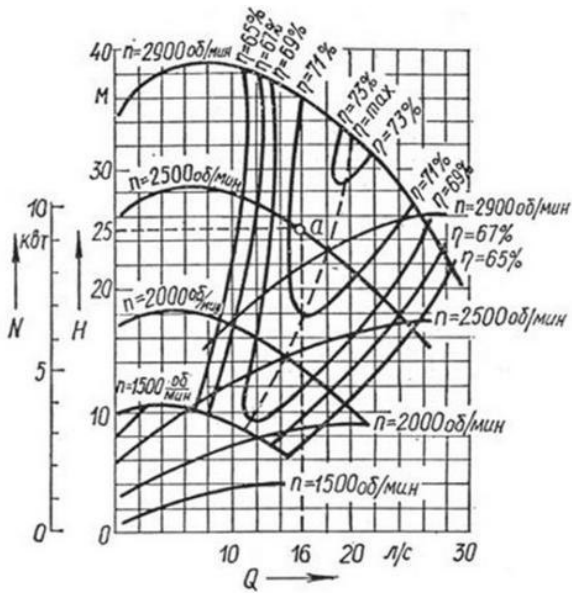


Рис. 1. Универсальные характеристики насоса

Для оценки влияния конструктивных параметров рабочего колеса центробежного насоса на действительную характеристику – напор была рассмотрена гидравлическая схема (рис. 2).

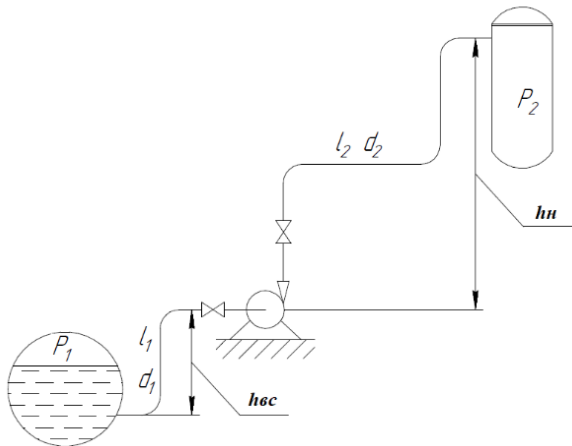


Рис. 2. Схема работы насоса на сеть

Давление в исходном резервуаре 0,6 АТИ; давление в приемном резервуаре 1,5 АТИ; коэффициент гидравлического трения 0,03; внутренний диаметр линии всасывания 100 мм; внутренний диаметр линии нагнетания 65 мм; сумма коэффициентом местного сопротивления на линии всасывания 4,86; сумма коэффициентом местного сопротивления на линии нагнетания 5,2; длина линии всасывания 20 м; длина линии нагнетания 42 м; высота всасывания 4 м; высота нагнетания 6 м.

В результате работы для предложенной гидравлической схемы была найдена зависимость между расходом воды, протекающей по трубопроводу и потерей давления на преодоление всех сопротивлений трубопровода (уравнение характеристики сети):

$$H_{\text{потр}} = 19,21 + 122895 \cdot Q^2$$

Для построения характеристики сети задавались несколькими значениями расхода и по уравнению характеристики сети рассчитывали потребный напор. С учетом заданной подачи и рассчитанного значения напора насоса, подобран насос. На рис. 3 представлена главная характеристика насоса (линия 1, 2) и характеристика сети $H = f(Q)$ (линия 3) при минимальном и максимальном диаметре рабочего колеса центробежного насоса.

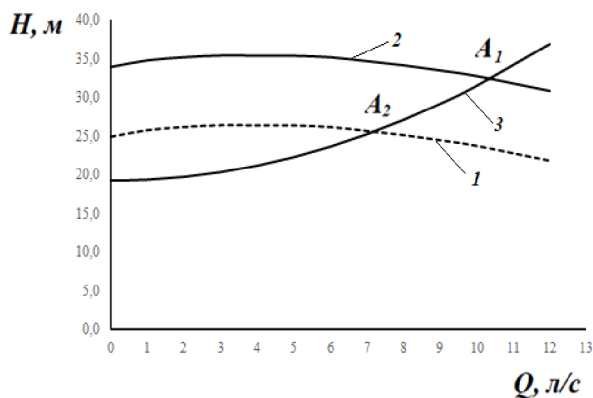


Рис. 3. Влияние диаметра рабочего кол центробежного насоса на точку материального и энергетического равновесия системы:

- 1 – главная характеристика насоса при минимальном диаметре рабочего колеса;
- 2 – главная характеристика насоса при максимальном диаметре рабочего колеса;
- 3 характеристика сети

В процессе работы, была предложена гидравлическая схема насосной установки, рассчитан статический напор, потребный напор, произведен подбор насоса по сводному графику подач и напоров, рассмотрено

влияние диаметра рабочего колеса центробежного насоса на положение точки материального и энергетического баланса системы – рабочей точки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Касаткин А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов. 12-е изд., стер. и дораб. М.: Альянс, 2005. 750 с.
2. *Леонтьев В.К.* Изучение насосов динамического действия: учеб. пособие / В.К. Леонтьев, О.Н. Кораблева, М.А. Юровская; Яросл. гос. техн. ун-т. Ярославль, 2014. 91 с
3. Центробежные насосы: технические характеристики оборудования. URL: <http://moikolodets.ru/centrobezhnye-nasosy-tehnicheskie-harakteristiki-371>

УДК 66.02

**ПРОЕКТ УЗЛА УЛАВЛИВАНИЯ ЧАСТИЦ
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ
«ГИДРОДИНАМИКА ЗЕРНИСТОГО СЛОЯ»**

К.А. Мановская, В.В. Козлова, О.Н. Кораблева, Е.А. Гирба

Научный руководитель – **О.Н. Кораблева**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Приведены основные закономерности улавливания частиц твердой фазы в поле действия центробежных сил. Разработана схема лабораторной установки с использованием циклона. Определены основные конструкционные размеры аппарата с учетом диаметра частиц твердой фазы, плотности частиц и производительности по дисперсионной среде.

***Ключевые слова:** циклон, схема лабораторной установки, производительность по дисперсионной среде, размер частиц твердой фазы, диаметр частиц*

**THE PROJECT OF THE PARTICLE CAPTURE UNIT
FOR THE LABORATORY INSTALLATION
"HYDRODYNAMICS OF THE GRANULAR LAYER"**

K.A. Manovskaya, V.V. Kozlova, O.N. Korableva, E.A. Girba

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

Yaroslavl State Technical University

The main regularities of the capture of solid phase particles in the field of action of centrifugal forces are given. A scheme of a laboratory installation using a cyclone has been developed. The main structural dimensions of the apparatus are determined taking into account the diameter of the solid phase particles, particle density and performance in the dispersion medium.

***Keywords:** cyclone, laboratory setup diagram, dispersion medium performance, solid phase particle size, particle diameter*

Взвешенный слой часто называют псевдооживленным, т.к. масса мелких твердых частиц в результате непрерывного перемешивания приходит в легко подвижное состояние – приобретает свойство текучести подобно жидкости. Восходящий поток псевдооживляющего агента проходит через слой твердых частиц, образуя пузыри. В этом случае система

напоминает кипящую жидкость, вследствие чего такое состояние слоя частиц зернистого материала часто называют кипящим слоем. Состояние и условия существования взвешенного слоя зависят от скорости восходящего потока, а также от физико-химических свойств системы - плотности, вязкости, размеров частиц и т. д. Скорость начала псевдооживления и скорость уноса наиболее надежно определяют на лабораторных установках измерением гидравлического сопротивления слоя Δp в зависимости от скорости потока w . Результаты измерений обычно представляют в виде графической зависимости $\Delta p = f(w)$, называемой кривой псевдооживления. Улавливание частиц твердой фазы целесообразно проводить в поле действия центробежных сил [1-3].

Осаждение частиц в поле действия центробежных сил находит широкое применение в промышленности, что обусловлено высокой производительностью оборудования и высокой степенью улавливания частиц твердой фазы. Поле действия центробежных сил создается двумя способами: или вращением аппарата (центрифуги) или вращением потока внутри неподвижного аппарата (циклоны). Под действием центробежной силы частицы твердой фазы перемещаются от центра к периферии по оси со скоростью, равной скорости осаждения. Для оценки влияния центробежных сил на скорость осаждения используется значение центробежного критерия Фруда или фактора разделения. Фактор разделения определяется как отношение центробежной силы, действующей на частицу к силе тяжести. Значение центробежного критерия Фруда для циклонов достигает нескольких сотен, для центрифуг несколько тысяч. Степень очистки газа в центрифугах и циклонах тем выше, чем больше фактор разделения. Центробежный критерий Фруда можно увеличить либо путем увеличения радиуса вращения газового потока, либо увеличением его скорости, что сопряжено с возрастанием гидравлического сопротивления. При увеличении диаметра циклона наблюдается значительное снижение производительности аппарата, в следствии чего, на практике при больших значениях расхода запыленного газа применяется батарейный циклон – несколько циклонных элементов небольшого размера, объединяются в один корпус [2].

Циклон состоит из вертикального цилиндрического корпуса с коническим днищем и крышкой (рис. 1).

Газ вводится в циклон тангенциально через патрубок со значительной скоростью (20–25 м/с), при этом прямолинейное движение газового потока преобразуется во вращательное. Поток движется вниз по спирали. Частицы пыли под действием центробежной силы отбрасываются к стенкам корпуса и перемещаются вниз в разгрузочный бункер. Газ, дойдя до конической части циклона, меняет направление, закручивается по меньшему радиусу и выходит по выхлопной трубе.

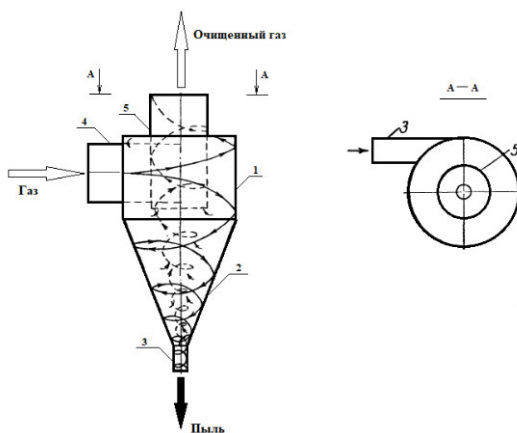


Рис. 1. Циклон:

1 – корпус; 2 – коническая часть; 3 – пылеотводящий патрубок; 4 – входной патрубок; 5 – выхлопная труба

На кафедре Ярославского государственного технического университета при изучении дисциплины Процессы и аппараты химической технологии студенты изучают гидродинамику зернистого слоя. Данная установка, в настоящее время, к сожалению, не позволяет определять скорость уноса, в связи с чем, возникла потребность разработки и модернизации существующего лабораторного стенда (рис. 2).

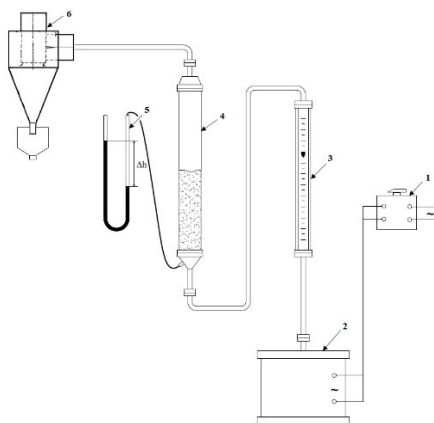


Рис. 2. Схема лабораторного стенда:

1 – лабораторный трансформатор; 2 – вентилятор (газодувка); 3 – ротаметр; 4 – стеклянный аппарат; 5 – дифманометр; 6 – циклон

Экспериментальная установка (см. рис. 1) включает в себя аппарат 1 со стеклянной обечайкой, в которую на сетке уложен слой частиц полимерного материала плотностью 910 кг/м^3 , сферических частиц с размером гранул 3 мм. Воздух подается в аппарат вентилятором высокого давления 2. Подача газа регулируется посредством лабораторного трансформатора 3. Измерение расхода осуществляется ротаметром 4, а перепад давления на слое измеряется U-образным манометром 5, воздух с частицами полимерного материала поступает в циклон 6.

В результате расчетов была определена скорость начала псевдооживления и скорость уноса, которые соответственно составили 0,7 м/с и 7,5 м/с. При диаметре аппарата 100 мм расход воздуха, необходимого для разрушения слоя и массового уноса частиц полимерного материала заданной плотности и диаметра частиц составит 58,9 л/с. Перепад давления в газораспределительной решетке с учетом доли живого сечения решетки и коэффициента сопротивления решетки 58000 Па. С учетом расхода по газовой фазе и условной скорости газа, отнесенной к полному поперечному сечению цилиндрической части циклона диаметр циклона будет равен 0,3 м.

В процессе проектирования лабораторной установки был произведен расчет и подбор основного аппарата – циклона с учетом диаметра и плотности частиц полимерного материала. При помощи предложенной лабораторной установки возможно проводить исследование гидродинамических явлений в слое зернистого материала в диапазоне фильтрование, псевдооживление, унос. Предложенный лабораторный стенд также можно использовать для определения гидравлического сопротивления циклона и кипящего слоя материала частиц твердой фазы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Касаткин А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов. 12-е изд., стер. и дораб. М.: Альянс, 2005. 750 с.
2. *Гирба Е.А.* Гидромеханические процессы: учеб. пособие / Е.А. Гирба, В.К. Леонтьев; Яросл. гос. техн. ун-т. Ярославль, 2009. 91 с.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию: учеб. пособие для студентов хим.-технол. спец. вузов / Г.С. Борисов [и др.]; под ред. Ю. И. Дытнерского. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1991. 496 с.
3. *Плановский А.Н.* Процессы и аппараты химической технологии / А.Н. Плановский, В.М. Рамм, С.З. Каган. 4-е изд. М.: Химия, 1967. С. 641.

**ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ
НА МИНИМАЛЬНЫЙ РАЗМЕР ЧАСТИЦ,
УЛАВЛИВАЕМЫХ В ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕ-
КЛАССИФИКАТОРЕ**

И.В. Махаличев, В.Е. Королев, М.А. Юровская, В.К. Леонтьев

Научный руководитель – **М.А. Юровская**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Выполнен расчет минимального размера частиц, улавливаемых в первой ступени пылеуловителя-классификатора для различных технологических пылегазовых потоков. Установлена зависимость минимального размера улавливаемых частиц от плотности дисперсной фазы пылегазового потока.

***Ключевые слова:** минимальный размер улавливаемых частиц, истинная плотность частиц, пылеуловитель-классификатор, время пребывания частиц в аппарате, скорость осаждения*

**EFFECT OF THE DENSITY OF THE DISPERSED PHASE ON
THE MINIMUM SIZE OF PARTICLES CAPTURED IN THE
DUST COLLECTOR-CLASSIFIER**

I.V. Makhalichev, V.E. Korolev, M.A. Yurovskaya, V.K. Leontiev

Scientific Supervisor – **M.A. Yurovskaya**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

The calculation of the minimum size of particles trapped in the first stage of the dust collector-classifier for various technological dust and gas flows has been performed. The dependence of the minimum size of trapped particles on the density of the dispersed phase of the dust and gas flow has been established.

***Keywords:** minimum size of trapped particles, true particle density, dust collector-classifier, residence time of particles in the apparatus, settling rate*

Для очистки технологических газовых потоков от мелкодисперсной пыли во многих промышленных производствах широко используются инерционные пылеуловители. Среди них аппараты циклонного типа составляют самую многочисленную группу. Осаждение частиц в циклонах осуществляется под действием инерционных сил, возникающих во вращающемся газовом потоке. Они применяются практически на всех промышленных предприятиях, в том числе в машиностроении, химиче-

ской промышленности, теплоэнергетике, металлургии и др. Однако такие аппараты не всегда обеспечивают эффективное пылеулавливание. В связи с этим ученые разрабатывают новые пылеуловители, в которых повышение эффективности достигается путем комбинирования различных способов осаждения пыли [1].

К комбинированным пылеуловителям можно отнести пылеуловитель-классификатор, разработанный в Ярославском государственном техническом университете. В данном аппарате очистка пылегазового потока осуществляется на трех ступенях за счет центробежной и инерционной силы. Кроме этого, данный аппарат позволяет не только эффективно выделить пыль из газового потока, но и разделить её на фракции различного состава [2].

При расчете и подборе пылеуловителя-классификатора для промышленных предприятий необходимо определить не только геометрические размеры аппарата, его производительность и гидравлическое сопротивление, но и предварительно оценить фракционный состав уловленной пыли в каждой ступени очистки.

В данной работе был рассчитан минимальный размер частиц, которые будут уловлены на первой ступени очистки пылеуловителя-классификатора для пылегазовых потоков различных промышленных производств. В качестве дисперсной фазы пылегазового потока были выбраны частицы цемента плотностью $\rho_{\text{ч}} = 3100 \text{ кг/м}^3$; частицы строительного песка плотностью $\rho_{\text{ч}} = 2500 \text{ кг/м}^3$; частицы абразива плотностью $\rho_{\text{ч}} = 2100 \text{ кг/м}^3$; частицы угля $\rho_{\text{ч}} = 1350 \text{ кг/м}^3$. Частицы были равномерно распределены в воздушном потоке плотностью $\rho = 1,206 \text{ кг/м}^3$ и динамической вязкостью $\mu = 18 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$. Расход пылегазового потока составлял $0,13 \text{ м}^3/\text{с}$. В качестве геометрических параметров были взяты данные опытного образца пылеуловителя-классификатора (табл. 1). Схема расположения рассматриваемых при расчете сечений первой ступени пылеуловителя-классификатора представлены на рис. 1.

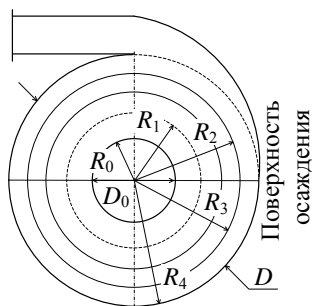


Рис. 1. Схема расположения сечений первой ступени

Таблица 1. Геометрические параметры работы пылеуловителя-классификатора

Наружный диаметр канала D , м	0,350
Внутренний диаметр канала D_0 , м	0,210
Радиус вращения потока r , м	0,175
Высота первой ступени $h_{ст}$, м	0,1155
Объем первой ступени $V_{ст}$, м ³	0,0071
Площадь сечения входного патрубка $S_{вх}$, м ²	0,0085
Расстояние от центра вращения R_0 , м	0,1050
Расстояние от центра вращения R_1 , м	0,1225
Расстояние от центра вращения R_2 , м	0,1400
Расстояние от центра вращения R_3 , м	0,1575
Расстояние от центра вращения R_4 , м	0,1750

В ходе расчета были определены время пребывания пылегазового потока в первой ступени пылеуловителя классификатора, угловая скорость вращения потока в ступени, скорость осаждения частиц в различных сечениях канала первой ступени очистки и диаметр уловленных частиц (табл. 2). Получены графики зависимости минимального размера улавливаемых частиц от плотности частиц дисперсной фазы пылегазового потока и от расстояния до поверхности осаждения (рис. 2, 3).

Таблица 2. Расчетные данные

Истинная плотность частиц потока, кг/м ³	3100	2500	2100	1350
Время пребывания частиц в первой ступени, с	0,057			
Скорость осаждения в сечении R_0 , м/с	1,237			
Скорость осаждения в сечении R_1 , м/с	0,928			
Скорость осаждения в сечении R_2 , м/с	0,618			
Скорость осаждения в сечении R_3 , м/с	0,309			
Угловая скорость вращения потока, с ⁻¹	105,68			
Минимальный размер улавливаемых частиц в сечении R_0 , мкм	10,50	11,69	12,76	15,92
Минимальный размер улавливаемых частиц в сечении R_1 , мкм	8,42	9,38	10,23	12,76
Минимальный размер улавливаемых частиц в сечении R_2 , мкм	6,43	7,16	7,81	9,75
Минимальный размер улавливаемых частиц в сечении R_3 , мкм	4,29	4,77	5,21	6,50

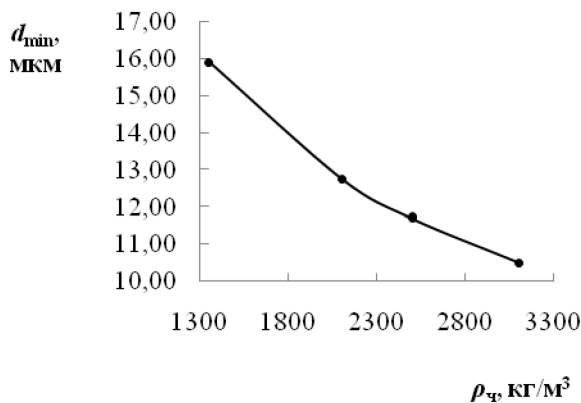


Рис. 2. График зависимости минимального размера улавливаемых частиц от плотности частиц дисперсной фазы при $R = R_0$

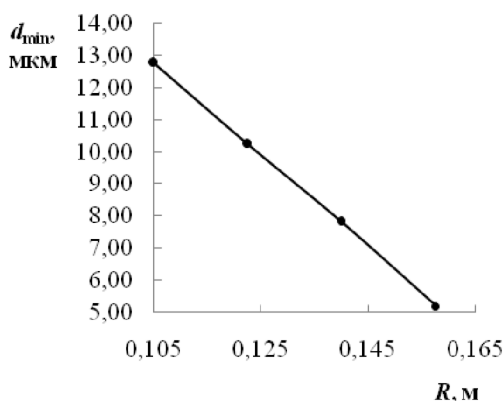


Рис. 3. Распределение минимального размера улавливаемых частиц по сечению первой ступени при $\rho_{ч} = 2100$ кг/м³

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чекалов Л.В. Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов. Ярославль: Русь, 2004. 424 с.
2. Юровская М.А. Экспериментальные исследования пылеуловителя-классификатора / М.А. Юровская, Д.Е. Смирнов, А.В. Сугак, В.К. Леонтьев // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2014. Т. 57, вып. 10. С. 84-87.

ПОЛУЧЕНИЕ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ИЗ ТАЛЛОВОГО МАСЛА

К.Н. Поздеев, П.В. Беляев, Т.Т.Нургазизова, В.В. Соловьев

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

Ярославский государственный технический университет

Предметом исследования является получение из таллового масла биодизельного топлива. В исследовании было решено сфокусироваться на востребованности продукта и способе получения.

***Ключевые слова:** экология, биодизель, талловое масло, алкоголиз, эфиры высших жирных кислот*

PRODUCTION OF BIODIESEL FROM TALLOW OIL

K.N. Pozdeev, P.V. Belyaev, T.T. Nurgazizova, V.V. Solovyov

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

Yaroslavl State Technical University

The subject of the study is the production of biodiesel from tallow oil. In the study, it was decided to focus on the demand for the product and the obtaining method.

***Keywords:** ecology, biodiesel, tallow oil, alcoholism, esters of higher fatty acids*

Автомобильный транспорт является неотъемлемой частью нашего мира, грузовой автопарк в нашей стране насчитывает наибольшее количество единиц транспорта, чем любой другой [1], не говоря уже о частных автомобилях. Поэтому вопросы экологичности автомобилей с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) и количества выбросов от них (углеродный след) поднимаются все чаще. В мире уже существуют законопроекты и решения по запрету на использование ДВС и переход на электромобили [2]. Однако есть сложности с тем, чтобы заменить транспорт с традиционными двигателями на экологичный: во-первых, электромобили, первоначально, существенно дороже транспорта с ДВС, во-вторых, на данный момент не существует ни достаточной развитой сети зарядных

станций, ни электростанций способных обеспечить полностью электрический автопарк целой страны [3].

Существует более простой, но чуть менее эффективный способ решения данной – использование в ДВС биотоплива. Биотопливо — топливо из растительного или животного сырья, из продуктов жизнедеятельности организмов или органических промышленных отходов[4]. Одной из разновидностей этого топлива является биодизель – смесь моноалкильных эфиров жирных кислот, получаемая из масел растительного происхождения.

Биодизель является топливом, которое во многих странах уже обязательно применяется для заправки автомобилей с ДВС, поскольку количество CO_2 , выбрасываемое в атмосферу при сгорании топлива находится в пределах выделения углекислого газа растениями за их жизненный цикл. Кроме того, биодизель не загрязняет почву и воду, в отличие от продуктов нефтепереработки – микроорганизмы способны в течении месяца переработать 99% топлива, попавшего в окружающую среду [5]. По данным на 2010 год в мире производилось 19 млрд л биодизеля, при этом ежегодный прирост производства составлял 12% [6].

Однако большая часть этого топлива производится из рапса или сои – растений пригодных в качестве корма для скота или пищи для человека. В условиях неуклонно растущей численности человечества и голода населения бедных регионов, такое расточительство вызывает множество споров.

Альтернативой же являются различные масла растительного происхождения не пригодные в пищу, например, упомянутое ранее, талловое масло. Талловое масло – продукт обработки серной кислотой сульфатного мыла, получаемого в качестве побочного продукта при варке целлюлозы из древесины сульфатным способом. По составу представляет собой, преимущественно, различные органические кислоты и жирные спирты.

Биодизельное топливо из таллового масла не только по своим свойствам превосходит традиционное дизельноепо цетановому числу и предельной температуре фильтруемости [7], но и позволяет обеспечить транспорт топливом, не употребляя необходимые для других целей культуры. Так, например, в Финляндии существует завод биодизельного топлива именно из сырого таллового масла, производительность которого составляет порядка 100 тысяч тонн в год [8].

Таким образом, полученное в лабораторных условиях из этилового спирта и таллового масла биодизельного топлива, не только предлагает решение проблемы экологичности моторных топлив и утилизации отходов целлюлозно-бумажной промышленности, но и является перспективным проектом по замещению исчерпываемых полезных ископаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистика и показатели. Грузооборот всех видов транспорта в России. URL: <https://rosinfostat.ru/gruzooborot/#i-8>
2. *Конючук М.* «Дороги назад нет». Как Европа решила заглушить бензиновые двигатели. URL: <https://www.autonews.ru/news/6360d5939a7947421cad8d4>
3. *Кемеров И.* Что станет с энергетикой России, если все автомобили станут полностью электрическими? URL: <https://fishki.net/auto/3254366-chto-stanet-s-jenergetikoj-rossii-esli-vse-avtomobili-stanut-polnostyju-jelektricheskimi.html>
4. Биотопливо. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Биотопливо>
5. Биодизель. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Биодизель>
6. *Voegelé E.* Report outlines global biodiesel production. URL: <https://biodieselmagazine.com/articles/8016/report-outlines-global-biodiesel-production>
7. Пат. № 2631252 Российская Федерация, МПК С11В3/00 (2006.01), С11В13/00 (2006.01), С11В1/08 (2006.01), С11Л1/18 (2006.01), С11Л1/02 (2006.01). Способ получения топлива, подобного дизельному / Я. Варнксвист: заявл. 08.12.2011; опубл. 22.09.2017. 16 с.
8. ТАСС Наука. Первый в мире завод по производству биодизеля из сырого таллового масла. URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/558948>.

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РАСПЫЛЕНИЯ ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ

И.С. Сафарова, А.Н. Егорова, М.Д. Поварова, В.К. Леонтьев

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

Ярославский государственный технический университет

Выполнен расчет процесса распыления вязких жидкостей с помощью гидравлической форсунки и с помощью вращающегося диска. Проведено сравнение вышеуказанных способов по удельным энергетическим затратам при одинаковых характеристиках факела распыления.

***Ключевые слова:** способы распыления, гидравлическая форсунка, вращающийся диск, диаметр капли, удельная энергия*

ON THE EFFECTIVENESS OF THE PROCESS OF SPRAYING VISCOUS LIQUIDS

I.S. Safarova, A.N. Egorova, M.D. Povarova, V.K. Leontiev

Scientific Supervisor - **V.K. Leontiev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The calculation of the process of spraying viscous liquids using a hydraulic nozzle and a rotating disk is performed. The comparison of the above methods by specific energy costs with the same characteristics of the spray torch is carried out.

***Keywords:** spraying methods, hydraulic nozzle, rotating disc, drop diameter, specific energy*

Анализ исследований процессов распыления жидких сред в различных отраслях свидетельствует о теоретической и практической значимости этих процессов, определяющих эффективность современных технических устройств и установок [1].

Процесс распыления вязких жидкостей широко используется в различных отраслях промышленности. В пищевой промышленности распыление некоторых пищевых эмульсий применяется для получения

мелкодисперсных порошков или гранулированных продуктов из молока, кофе, цикория и др.

Распыление с помощью форсунок является наиболее распространенным процессом. Различают капельный, волновой и распылительный режимы диспергирования жидких сред [2]. При распылительном режиме образуются капли на выходе из распылительного устройства и в пространстве образуют факел в виде конуса. В отраслях промышленности для распыления вязких жидких сред чаще используются осевые и центробежные гидравлические форсунки, в которых распад подаваемой в форсунку жидкости на отдельные капли зависит от давления нагнетания потока жидкости в рабочее пространство.

Границы существования этих режимов характеризуются значениями критериев Вебера We и Рейнольдса Re :

$$We = \frac{v^2 d_o}{\sigma} \quad (1)$$

$$Re = \frac{v d_o}{\mu} \quad (2)$$

где v – скорость жидкости на выходе из распылителя, м/с; d_o – диаметр сопла, м; ρ – плотность жидкости, кг/м³; μ – вязкость жидкости, Па·с; σ – поверхностное натяжение, Н/м.

Целью работы является сравнение эффективности процесса распыления вязкой жидкости с помощью форсунки и вращающегося диска. Оценку эффективности проводили по затратам мощности при одинаковых расходах жидкой фазы и одинаковых размерах капель распыляемой жидкости.

Задаемся следующими свойствами распыляемой жидкости: динамический коэффициент вязкости $\mu = 5$ Па·с; поверхностное натяжение $\sigma = 0,049$ Н/м; плотность $\rho = 1100$ кг/м³ [1].

По данным исследований для получения диаметра капель $d_k = 1,1$ мм необходимо создать давление на форсунке с диаметром соплового отверстия $d_o = 5$ мм $p = 1,2$ МПа [2].

При выбранных параметрах рассчитываются скорость жидкости на выходе из форсунки:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho}} \quad (3)$$

При этом значения скорости, критериев Вебера и Рейнольдса составят: $v = 46,7$ м/с, $We = 244\,898,6$, $Re = 51,4$.

Т.к. рассчитанный критерий Вебера больше величины $40000/Re^{0,5}=5\,578,8$ [2], то в этом случае обеспечивается распылительный режим диспергирования вязкой жидкости.

Объемный расход жидкости будет

$$Q = \mu_p \cdot S_0 \cdot v, \quad (4)$$

где $\mu_p = 0,73$ – коэффициент расхода; $S_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}$ – площадь выходного сечения форсунки, m^2 .

$$Q = 0,00067 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый расход $M = \rho \cdot Q = 1\,000 \cdot 0,00067 = 0,796 \text{ кг/с} = 2\,650 \text{ кг/ч}$.

Мощность, затрачиваемая на диспергирование равна $N = p \cdot Q = 1\,200\,000 \cdot 0,00067 = 804 \text{ Вт}$.

Или удельная мощность, т.е. мощность, отнесенная к массовому расходу жидкости составит $N/M = 804/2650 = 0,31 \text{ Вт/(кг/ч)}$

Проведем расчет удельной мощности при распылении жидкости с помощью вращающегося диска. Схема распыления представлена на рис. 1.

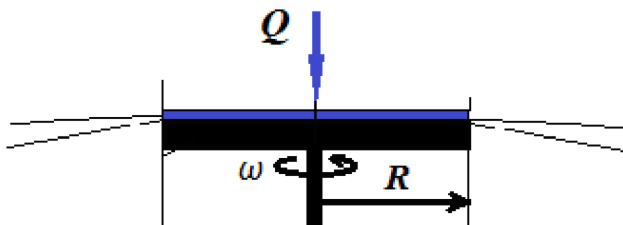


Рис. 1. Схема распыления жидкости с помощью вращающегося диска

Из выражения для определения диаметра каплей [1]

$$d = \frac{9,85}{\omega} \sqrt{\frac{\sigma}{2R\rho}}$$

где $R = 0,1 \text{ м}$ – радиус диска, м, определяем угловую скорость вращения диска $\omega = 133,64 \text{ с}$, тогда частота вращения $n = 21,28 \text{ об/с}$.

По графической зависимости удельного расхода энергии от величины $(D \cdot n)^2$ (рис. 2) [1] находим $N/M = 0,0452 \text{ кВт/(кг/ч)} = 45,2 \text{ Вт/(кг/ч)}$.

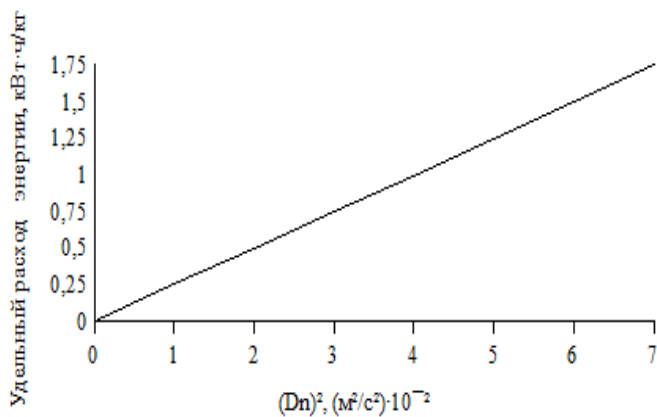


Рис. 2. Зависимость удельного расхода энергии на диспергирование

В результате работы выполнен расчет процесса распыления вязких жидкостей с помощью гидравлической форсунки и с помощью вращающегося диска. Сравнение вышеуказанных способов по затрачиваемым удельным расходам энергии показывает, что при диспергировании с помощью гидравлической форсунки затраты энергии на два порядка меньше, чем с помощью вращающегося диска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зайцев А.И.* О монодисперсности распыленных вязких жидкостей // Массообменные и теплообменные процессы химической технологии: сб. науч. тр. Ярослав. политехн. ин-та. Ярославль. 1975. С. 131–138.
2. *Пажи Д.Г.* Основы техники распыливания жидкостей / Д.Г. Пажи, В.С. Галустов. М.: Химия, 1984. 254 с.

ПРОЕКТ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ГИДРОЦИКЛОНА

К.В. Смирнов, Д.В. Демьянов, О.Н. Кorableва

Научный руководитель – **О.Н. Кorableва**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Представлен механизм работы и устройство аппарата для улавливания частиц твердой фазы грубой суспензии - гидроциклона. Разработана схема лабораторной установки с использованием гидроциклона. Определены основные конструкционные размеры аппарата с учетом диаметра частиц твердой фазы, концентрации частиц твердой фазы и производительности по исходной суспензии.

Ключевые слова: гидроциклон, суспензия, схема лабораторной установки, производительность суспензии, концентрация частиц твердой фазы, диаметр частиц

THE PROJECT OF A LABORATORY INSTALLATION FOR THE STUDY OF THE OPERATION OF A HYDROCYCLONE

K.V. Smirnov, D.V. Demyanov, O.N. Korableva

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

Yaroslavl State Technical University

The mechanism of operation and device of the device for capturing particles of the solid phase of a coarse suspension - a hydrocyclone is presented.. A scheme of a laboratory installation using a hydrocyclone has been developed. The main structural dimensions of the apparatus are determined taking into account the diameter of the solid phase particles, the concentration of solid phase particles and the performance of the initial suspension.

Keywords: hydrocyclone, suspension, laboratory setup diagram, suspension performance, solid phase particle concentration, particle diameter

Один из наиболее распространенных способов очистки грубых суспензий заключается в использовании аппаратов, в которых разделение проходит под действием центробежных сил. Центроостремительные ускорения создаются двумя путями, или вращением аппарата с суспензией –

центрифуги, или с вращением потока внутри неподвижного аппарата – гидроциклоны. Для характеристики процесса разделения в поле действия центробежных сил используется такой параметр как фактор разделения, который представляет собой отношение силы центробежной к силе тяжести. При прочих равных условиях, разделяющее действие при осадительном центрифугировании возрастает пропорционально величине критерию Фруда (фактору разделения) [1].

Гидроциклон состоит из цилиндро-конического корпуса, снабжённого сверху тангенциально расположенным штуцером для ввода суспензии, нижним штуцером для отвода сгущённого осадка и верхним соосным патрубком для выхода фугата (рис. 1). Преимуществами данного аппарата являются простота устройства и обслуживания, компактность и низкая стоимость, как недостаток можно отметить невысокую степень разделения для частиц твердой фазы малого размера и сильно разбавленных суспензий.

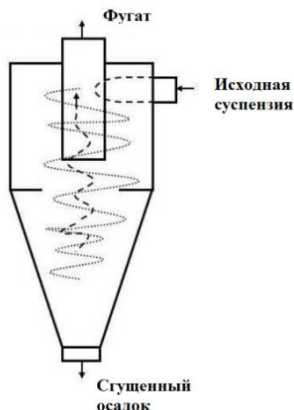


Рис. 1. Схема гидроциклона

Принцип действия гидроциклона основывается на высокой скорости суспензии, подаваемой в аппарат тангенциально. В результате вращательного движения по спирали внутри корпуса за счет закручивания потока жидкости возникает поле центробежных сил и происходит разделение суспензии на жидкую и твердую фазу. Разделяемая суспензия, войдя в гидроциклон с большой скоростью, приобретает вращательное движение и по мере её перемещения вниз частицы твёрдые частицы концентрируются вблизи внутренней поверхности конуса. В центральной части корпуса возникает встречный восходящий поток фугата, который может содержать неотделившиеся мелкие твёрдые частицы. Соотношение пото-

ков сгущенного осадка и фугата, выходящие из аппарата зависят от сечений штуцеров для их отвода [2].

На кафедре Ярославского государственного технического университета была разработана схема лабораторной установки с использованием гидроциклона (рис. 2). Цель создания данного лабораторного стенда заключается в оценке эффективности разделения суспензии гидроциклоном.

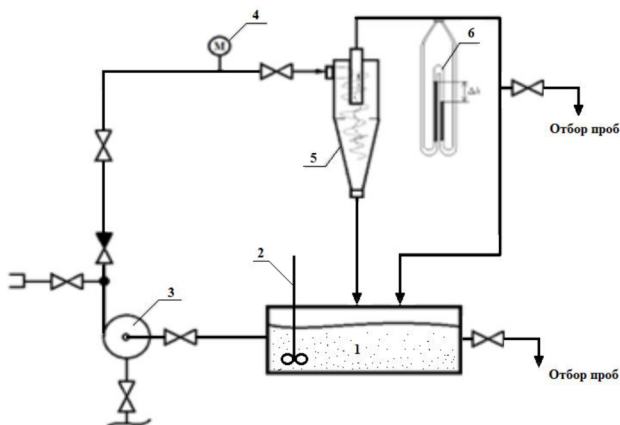


Рис. 2. Схема лабораторной установки очистки суспензии с использованием гидроциклона:

- 1 – емкость для исходной суспензии; 2 – мешалка, для взмучивания осадка;
3 - насос; 4 – манометр, 5 – гидроциклон; 6 – диафрагма расходомерная

Исходная суспензия (20%-ный раствор карбоната кальция в воде) насосом по напорному трубопроводу подается тангенциально через входной патрубок в гидроциклон 5, в котором происходит ее (непосредственное) осветление от взвешенных частиц твердой фазы. Осветленная вода через центральный патрубок сверху отводится из гидроциклона в бак исходной суспензии, при этом на трубопроводе установлен отвод с краном для отбора проб. Контроль за напором на входе в гидроциклон осуществляется с помощью манометра, установленного на напорном трубопроводе насоса 4, при этом регулирование напора на входе в гидроциклон в пределах от минимального до максимального значения осуществляется открыванием и перекрыванием запорного клапана. В резервуаре установлена мешалка 2 для взмучивания осадка.

Для расчета конструктивных размеров гидроциклона использовалась методика [3], согласно которой объемная производительность гидроциклона V , м³/ч, рассчитывается:

$$V \cong 0,94 \cdot d_{ax} \cdot d_{ul} \cdot \sqrt{\Delta p},$$

где d_{ex} - наименьший диаметр входного патрубка, см;

$d_{ш}$ - диаметр шламового патрубка, см;

Δp - избыточное давление перед входным патрубком, ат.

Давление на входе в гидроциклон найдем из условия $\Delta p = 0,85\rho_p$ (ат), где ρ_p - плотность раствора, г/см³. Исходя из массового содержания карботана кальция в воде плотность раствора составит 1145 кг/м³ или 1,145 г/см³. Принимая избыточное давление на входе в гидроциклон $\Delta p = 1$ ат, и с учетом массового расхода исходного раствора рассчитываем приведенную скорость суспензии, которая составит 0,37 м/с. С учетом заданной производительности по уравнению объемного расхода находим диаметр гидроциклона $D = 25$ мм, выбираем стандартный гидроциклон ГЦП-25 производительностью от 0,45 до 0,9 м³/ч внутренним диаметром корпуса 25 мм, габаритными размерами (ВхШхД, мм) 100x100x225 [4].

Геометрические характеристики гидроциклона составят диаметр пескового патрубка $d_n = 0,1D = 0,1 \cdot 25 = 2,5$ мм; диаметр входного патрубка $d_{ex} = 0,25D = 0,25 \cdot 25 = 8$ мм; диаметр сливного патрубка $d_{cl} = 0,3D = 0,3 \cdot 25 = 8$ мм; длина цилиндрической части $L_{ц} = 2D = 2 \cdot 25 = 50$ мм; длина сливного патрубка $L_c = 1D = 1 \cdot 25 = 25$ мм; угол конуса конусной части 10°, длина конуса 129 мм; общая высота 179 мм.

В процессе проектирования лабораторной установки был произведен расчет и подбор основного аппарата – гидроциклона с учетом заданной производительности, состава и содержания суспензии, поступающей на стадию очистки. При помощи предложенной лабораторной установки возможно проводить исследования по разделению суспензий и обезвоживанию минеральных частиц. Для интенсификации процесса разделения с использованием поле действия центробежных сил исходная емкость должна быть снабжена перемешивающим устройством для взмучивания осадка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Касаткин А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов. 12-е изд., стер. и дораб. М.: Альянс, 2005. 750 с.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию: учеб. пособие для студ. хим.-технол. спец. вузов / Г.С. Борисов [и др.]; под ред. Ю. И. Дытнерского. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1991. 496 с.
3. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической технологии / А.Н. Плановский, В.М. Рамм, С.З. Каган. 4-е изд. М.: Химия, 1967. С. 641
4. Гидроциклон ГЦП-25. URL: <https://zko-ural.com/gep25.php>

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАПСУЛИРОВАНИЯ ПЕРКАРБОНАТА НАТРИЯ

А.А. Тихомирова, А.А. Липин

Научный руководитель – **А.А. Липин**, канд. тех. наук, доцент

Ивановский государственный химико-технологический университет

Получены образцы гранул перкарбоната натрия, покрытые оболочкой из силиката натрия. Процесс нанесения покрытия осуществлялся в аппарате с псевдооживленным слоем. Установлено, что продолжительность выделения перкарбоната натрия из капсулированных гранул зависит от относительной массы слоя покрытия.

Ключевые слова: капсулирование, перкарбонат натрия, псевдооживленный слой, силикат натрия

INVESTIGATION OF SODIUM PERCARBONATE COATING

A.A. Tikhomirova, A.A. Lipin

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

Ivanovo State University of Chemistry and Technology

Samples of sodium percarbonate pellets coated with a sodium silicate were obtained. The coating process was carried out in a fluidised bed apparatus. It was found that the duration of sodium percarbonate release from the encapsulated pellets depended on the relative mass of the coating layer.

Keywords: coating, sodium percarbonate, fluidized bed, sodium silicate

Перкарбонат натрия применяется в качестве экологически чистого отбеливателя в составе синтетических моющих средств, например, в качестве компонента стирального порошка [1]. Он является сильным окислителем и несовместим с некоторыми другими компонентами моющего средства, например, ферментами. Входящая в состав перкарбоната натрия перекись водорода дезактивирует ферменты. Решением проблемы может стать применение капсулированного перкарбоната натрия. Замедленное его высвобождение позволит ферментам работать с максимальной эффективностью до деактивации в присутствии пероксида водорода. По-

иск водорастворимых материалов для капсулирования пероксида натрия с целью обеспечения его контролируемого высвобождения является актуальной задачей.

В данной работе капсулирование гранул перкарбоната натрия осуществлялось методом распыления раствора силиката натрия посредством пневматической форсунки на псевдооживленный слой гранул. Использовался водный раствор силиката натрия с вязкостью $2,2 \text{ мм}^2/\text{с}$. Схема лабораторной установки для проведения процесса капсулирования представлена на рис. 1.

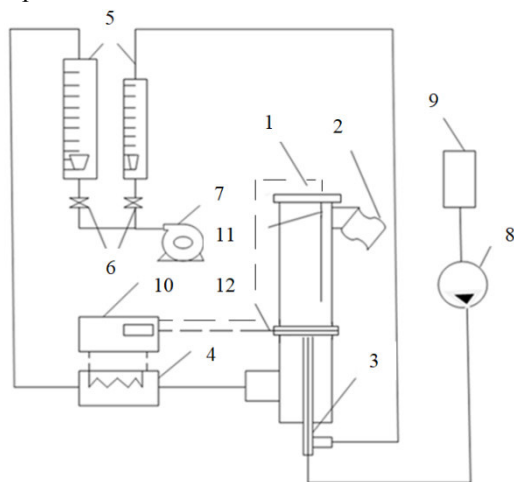


Рис. 1. Схема установки для капсулирования в псевдооживленном слое:

- 1 – гранулятор с псевдооживленным слоем; 2 – рукавный фильтр; 3 – форсунка; 4 – калорифер; 5 – ротаметр; 6 – вентиль; 7 – компрессор; 8 – насос перистальтический; 9 – емкость капсулянта; 10 – измеритель-регулятор температуры; 11, 12 – датчик температуры

Гранулы перкарбоната натрия в количестве 50 г загружались в аппарат 1 через верхнюю крышку. Подача воздуха на псевдооживление и на распыл форсунки осуществлялась с помощью компрессора 7, регулировалась вентилями 6 и измерялась ротаметрами 5. Поток воздуха, подаваемый на псевдооживление, нагревался в калорифере 4. Температура в грануляторе контролировалась с помощью измерителя-регулятора 10. Измерение температуры слоя материала и воздуха под решёткой осуществлялось с помощью термпар 11, 12. Раствор силиката натрия из емкости 9 нагнетался перистальтическим насосом 8 в форсунку 3, посредством которой распылялся в фонтанирующий слой гранул. В процессе капсулирования в фонтанирующем слое возможно образование мелкой фракции,

пыли. Для очистки отходящего воздуха от пыли предусмотрен рукавный фильтр 2.

В опытах по капсулированию установлены режимно-технологические параметры процесса: расходы воздуха и капсулянта, температура слоя, позволяющие получить капсулированный продукт без агломерации частиц. Получено четыре вида капсулированного перкарбоната натрия, отличающегося относительной массой оболочки, то есть отношением массы оболочки к массе непокрытой гранулы. Она составила: 5, 8, 10 и 13% (рис. 2).

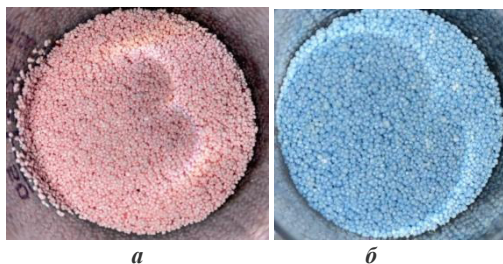


Рис. 2. Капсулированный перкарбонат натрия с различной относительной массой оболочки:
a – 8 %; *б* – 13 %

Эффект пролонгированного действия полученных образцов капсулированного перкарбоната натрия определяли путем исследования кинетики его выделения в воде. Установлена зависимость времени выделения перкарбоната натрия из капсулированных гранул от толщины нанесенной оболочки. При относительной массе оболочки 5 % время растворения составляет 10 минут, 8 % - 14 минут, 10 % - 19 минут; 13 % - 30 минут.

Таким образом, показано, что, меняя относительную массу оболочки, можно регулировать время высвобождения перкарбоната натрия из капсулированных гранул.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование осаждения кристаллов перкарбоната натрия в электроциклоне / Н.В. Инюшкин, Ф.С. Югай, З.Р. Гильванова [и др.] // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2012. Т. 55, вып. 10. С. 104-107.
2. *Липин А.Г.* Оценка степени покрытия при капсулировании зернистых материалов в псевдооживленном слое / А.Г. Липин, В.О. Небукин, А.А. Липин // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2019. Т.62, вып.5. С.84-90.

УДК 66.011

О ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕХОДА НПЗ С НЕБОЛЬШОЙ ГЛУБИНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ НА ПЕРЕРАБОТКУ ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ

М.М. Хирамагомедов, А.В. Тарасов

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

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается возможность перехода НПЗ с небольшой глубиной переработки нефти на переработку тяжелой нефти.

***Ключевые слова:** переход НПЗ с небольшой глубиной переработки, тяжелые нефти*

ON THE POSSIBILITY OF TRANSITION OF REFINERY FROM A SMALL DEPTH OF OIL REFINING TO REFINING OF HEAVY OIL

M.M. Hiramagomedov, A.V. Tarasov

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

Yaroslavl State Technical University

The possibility of transition of refineries with a small depth of oil refining to the processing of heavy oil is being considered.

***Keywords:** transition of a refinery with a small refining depth, heavy oils*

В России, наряду с современными топливными и нефтехимическими заводами по переработке нефти существует значительное число предприятий небольшой мощности (до 500 тыс. т. нефти в год), оборудование которых состоит в основном из установок первичной перегонки нефти, т.е. установки АВТ. Считается, что в ближайшее время все подобные предприятия будут закрыты, поскольку они не могут конкурировать с крупными предприятиями с широким набором технологических процессов и установок, и не могут обеспечить необходимое качество товарной продукции.

Одним из подобных предприятий является Ярославский НПЗ им. Д.И. Менделеева. Предприятие довольно длительное время производило различные смазочные материалы высокого качества и обеспечивало

потребности в них различных отраслей промышленности. Причина подобного успеха заключалась в особых свойствах традиционно перерабатываемой на предприятии Анастасиевской нефти IV горизонта. Особенностью подобных тяжелых нефтей является высокая доля масляных компонентов и отсутствие в их составе n-алканов и парафинов. В результате чего все прямогонные продукты установки АВТ (и в первую очередь масла) имели уникальные низкотемпературные свойства. Требовалась лишь одна дополнительная очистка прямогонных масляных фракций от смолистых и ароматических соединений для получения высококачественных компонентов базовых промышленных масел. Постепенное истощение данного месторождения и трудности доставки тяжелой нефти в свое время заставили предприятие перейти на переработку легких нефтей и газовых конденсатов, и даже переоборудовать основное оборудование установки АВТ на переработку легких нефтей. Как следствие, в настоящий момент этот путь развития предприятия в силу простоты имеющихся на нем процессов переработки является бесперспективным для получения продуктов с высокой добавочной стоимостью.

В настоящее время все больше внимания уделяется переработке тяжелых нефтей, которые, подобно Анастасиевской нефти, в своем составе имеют уникальные масляные фракции с отличными свойствами. Проблема переработки тяжелых нефтей заключается в том, что подобные нефти нельзя смешивать с обычными парафинистыми нефтями, поскольку это отрицательно скажется на низкотемпературных свойствах масляных фракций. Относительно небольшие объемы добываемых тяжелых нефтей типа Ярегской нефти не позволяют в настоящий момент перерабатывать их на крупных НПЗ отдельно, строить новые заводы по их переработке слишком затратно. Логичным выходом из ситуации является вновь задействовать для переработки таких нефтей небольшие предприятия, имеющие единственную установку АВТ и в силу этого способные легко перейти на переработку относительно небольших по количеству партий тяжелых нефтей с получением качественных масляных фракций.

Целью настоящей работы является проверка физической возможности перехода установки АВТ Ярославского НПЗ им. Д.И. Менделеева с переработки легких нефтей и газовых конденсатов (последние 25 лет работы) на переработку тяжелой нефти (условно Ярегского месторождения).

Основной проблемой при таком переходе является принципиально другой, более тяжелый фракционный состав этой нефти. Основными аппаратами установок АВТ являются, как известно, сложные колонны ректификации нефти. А для нормальной работы контактных устройств ректификационных колонн необходимо организовать достаточный расход парового и жидкостного потока в различных секциях колонны. Уменьшение парового потока в колонне ниже минимально допустимого уровня

может привести к провалу жидкости с тарелок и срыву процесса ректификации.

Особенностью работы сложных колонн установок АВТ является отсутствие кипятильника в кубе подобных аппаратов. В силу этого весь необходимый для ректификации поток пара приходит в колонну вместе с питанием колонны. Иными словами, если в питании колонны будет мало паровой фазы, то процесс ректификации организовать не удастся. Значит, основным условием нормальной работы установки АВТ при переходе с переработки легкой нефти на тяжелую нефть является обеспечение необходимой доли неполного испарения питания сложной колонны. Доля испарения нефти зависит от температуры нагрева нефти в печи перед колонной, при этом в силу низкой термической устойчивости нефти ее не рекомендуется нагревать выше 380 °С.

Ниже приведено распределение узких фракций углеводородов для двух типов нефтей – легкой (аналог перерабатываемой сейчас) и тяжелой (предлагаемой к переработке далее) (табл. 1).

Таблица 1. Распределение узких фракций углеводородов для двух типов нефтей

Компонент (фракция), $t_{нач}, t_{кон}$	Легкая нефть, кг/ч	Тяжелая нефть, кг/ч	Компонент (фракция), $t_{нач}, t_{кон}$	Легкая нефть, кг/ч	Тяжелая нефть, кг/ч
этан	9	-	260-270	1526	969
пропан	232	-	270-285	3315	3021
изобутан	151	-	285-300	1419	1254
бутан	748	-	300-315	3443	1710
изопентан	729	-	315-330	1504	855
пентан	969	-	330-340	1355	855
30-45	7	-	340-355	3044	1995
45-60	756	-	355-370	1483	1140
60-70	1818	-	370-385	2723	2850
70-85	736	-	385-400	1383	1140
85-100	2814	-	400-415	1362	1425
100-115	1718	-	415-430	2731	2679
115-130	1252	-	430-455	2816	2565
130-140	2802	-	455-480	3828	2280
140-155	1533	-	480-510	3101	2280
155-170	2852	-	510-540	2681	2508
170-185	1355	-	540-565	307	2679
185-200	1604	-	565-600	214	2793
200-215	3187	114	600-625	143	1596
215-230	1326	171	625-650	71	1995
230-245	3123	570	650-кк	0	17100
245-260	1832	456	ИТОГО	70000	57000

Сравнительный анализ составов нефтей говорит о практическом отсутствии в тяжелой нефти фракций с температурой кипения до 200 °С.

Любой проектировщик скажет, что этот факт существенно снижает возможную долю испарения нефти, причем крайним случаем такого снижения может являться ситуация, при которой нефть, будучи нагретой до нужной температуры, не испарится совсем.

В качестве основного инструмента исследований нами был выбран отечественный пакет программ GIBBS, моделирующий процессы нефтепереработки, в том числе процессы испарения и ректификации нефти и нефтяных фракций. Как и следовало ожидать, расчеты показали, что при переходе на переработку тяжелой нефти доля испарения нефти в печи перед основной колонной установки АТ существенно снизилась. Если при нагреве легкой нефти до температуры 360 °С при давлении 1,8 атм массовая доля испарившейся нефти составила 75%, то при нагреве тяжелой нефти она начала кипеть только при 365 °С, при температуре 380 °С доля отгона составила только 10%, при температуре 390 °С доля отгона составила 16%, а при температуре 400 °С доля отгона составила всего 22%. При этом, как уже говорилось, нагревать нефть выше 380 °С не рекомендуется в силу начинающегося ее термического крекинга.

Как же быть? Если паров в колонне будет так мало, то процесс ректификации нефти будет неэффективен, и переход на более тяжелые нефти в принципе невозможен?

Анализ существующих технологий нефтепереработки показал наличие одного приема, который может увеличить долю испарения тяжелых нефтей в печи. Этот технологический прием заключается в добавке в тяжелую нефть перед ректификацией определенного количества прямогонных бензиновых фракций, которые и сами легко испаряются, и способствуют испарению более тяжелых фракций исходной нефти. Расчетом было показано, что при добавлении в тяжелую нефть бензиновой фракции, выкипающей в интервале температур 30-180 °С, можно существенно увеличить долю отгона даже тяжелой нефти. Этот прием позволяет обеспечить необходимую паровую нагрузку в сложной ректификационной колонне установки АВТ и провести ректификацию даже тяжелых нефтей. При этой ректификации изначально добавленный бензин выделяется из нефти с незначительными потерями и вновь может быть использован для разбавления тяжелой нефти.

Разработана модель установки АВТ Ярославского НПЗ им. Д.И. Менделеева, с помощью которой были определены необходимые соотношения потоков тяжелой нефти и рециркулирующего бензина для обеспечения нормальных гидравлических режимов ректификационной колонны, позволяющих перерабатывать на существующем оборудовании не только легкие нефти, но и тяжелые нефти без реконструкции установки.

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

М.А. Алпатов, А.Е. Постнова

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

Ярославский государственный технический университет

Проработана возможность увеличения выпуска зимнего дизельного топлива на ПАО «Славнефть-ЯНОС» за счет снижения балластных фракций в фракции тяжелого дизельного топлива К-3/3. 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

M.A. Alpatov, A.E. Postnova

Scientific Supervisor - **A.E. Postnova**, Candidate of Chemical 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°С and having a turbidity temperature of minus 22°С. 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

Дизельное топливо (ДТ) - один из наиболее крупнотоннажных продуктов отечественной нефтепереработки. За 2022 г. при общем объеме переработанной нефти 270 млн т на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) страны, было произведено 78,02 млн т дизельного топлива, из которых только 37,17 млн т поступило на внутренний рынок. Его большая часть - летние и межсезонные сорта.

Несмотря на низкую предельную температуру фильтруемости некоторых сортов летнего топлива (до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), рассчитывать на его хранение в зоне холодных температур невозможно из-за его нестабильности (расслаивается с ухудшением свойств нижнего слоя).

По мере развития северных регионов страны, будет расти потребление ДТЗ. Возникает необходимость наращивания объемов производства данных сортов топлива для обеспечения рынка и обеспечения энергетической стабильности страны в целом.

С 2013 года в ПАО «Славнефть-ЯНОС» уже увеличен выпуск ДТЗ направлением балластных фракций, имеющих требуемые низкотемпературные свойства, помимо установки депарафинизации. В реактор направляются фракции, выкипающие выше $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, где сконцентрированы тяжелые нормальные парафины - исходные вещества для протекания основной реакции. Для разделения использовались колонны К-2 имеющихся традиционных установок атмосферно-вакуумной трубчатки с выводом легкого (К-3/2) и тяжелого (К-3/3) дизельных топлив. Увеличение выпуска дизельного топлива зимнего происходит за счет улучшения четкости деления в основных ректификационных колоннах атмосферно-вакуумной трубчатки и подбора рецептуры базового топлива для обеспечения приемистости депрессорно-диспергирующей присадки [1]. Способ 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.

Раздельный вывод легкого и тяжелого дизельного топлива позволил минимизировать содержание фракций, выкипающих ниже $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ и имеющих температуру помутнения минус $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ в фракции в К-3/3 направляемой на блок изодепарафинизации установки Л-24/7, но не исключил их полностью. Для определения количества балластных фракций в фракции К-3/3 выполнено хроматографическое исследование ДТ методом имитированной дистилляции потока К-3/3 установки ЭЛОУ-АТ-4, которое представлено на рис. 2. Балластные фракции выделены красной рамкой.

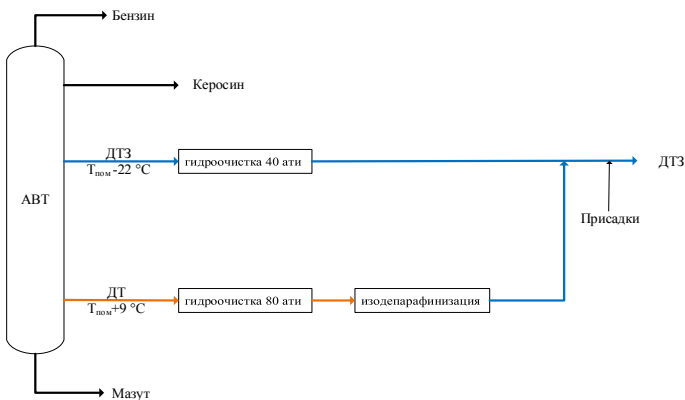


Рис. 1. Существующая схема получения зимнего дизельного топлива на ПАО «Славнефть-ЯНОС»

Хроматограмма 29.12.2022 9:46:11 №5353.2 Комментарий
 Проба ЭЛОУ-АТ-4 К-3/3 от 28.12.2022 г.
 Колонка

Зависимость % отгона от температуры перегонки		Зависимость температуры перегонки от % отгона	
температура	% отгона	% отгона	температура
-70,0	0,000	0,0	-52,34
-60,0	0,000	0,5	129,74
-50,0	0,000	5,0	235,39
-40,0	0,000	10,0	265,07
-30,0	0,000	15,0	284,15
-20,0	0,001	20,0	296,95
-10,0	0,001	25,0	305,96
0,0	0,003	30,0	315,49
10,0	0,003	35,0	319,85
20,0	0,007	40,0	326,45
30,0	0,008	45,0	330,93
40,0	0,015	50,0	335,99
50,0	0,021	55,0	341,41
60,0	0,033	60,0	345,14
70,0	0,061	65,0	350,90
80,0	0,075	70,0	356,34
90,0	0,129	75,0	361,43
100,0	0,192	80,0	368,04
110,0	0,246	85,0	373,88
120,0	0,355	90,0	381,07
130,0	0,503	95,0	391,03
140,0	0,592	99,5	404,35
150,0	0,681	100,0	414,25
160,0	0,873	Нелетучий остаток:	
170,0	1,028	0,00000	
180,0	1,354		
190,0	1,656		
200,0	2,203		
210,0	2,672		
220,0	3,550		
230,0	4,329		
240,0	5,626		
250,0	6,936		
260,0	8,794		
270,0	11,004		
280,0	13,829		
290,0	17,403		
300,0	21,064		
310,0	26,908		
320,0	35,068		
330,0	42,997		
340,0	53,769		
350,0	64,252		

Рис. 2. Хроматографическое исследование фракции К-3/3

По результатам исследования видно, что содержание фракций, выкипающих до 300 °С составляет примерно 21 %.

Для повышения четкости деления и отпарки балластных фракций из фракции К-3/3 предлагается на стриппинг-секцию К-3/3 установки ЭЛОУ-АТ-4 установить ребойлер, в следствии чего контактные устройства стриппинга К-3/3 в количестве 6 шт. будут задействованы в работу (будет происходить массообменный процесс). В качестве теплоносителя для ребойлера используется фракция мазута, отводимая из куба колонны К-2.

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.

УВЕЛИЧЕНИЕ ВЫПУСКА ЗИМНЕГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ПАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯНОС»

М.А. Алпатов, А.Е. Постнова

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

Ярославский государственный технический университет

Проведено моделирование модернизированной стриппинг-секции К-3/3 установки ЭЛОУ-АТ-4 ПАО «Славнефть-ЯНОС». В расчетной программе Petro-SIM произведено поэтапное снижение содержания балластных фракций в фракции К-3/3 выводимой с установки ЭЛОУ-АТ-4 до достижения оптимального результата с сохранением температуры помутнения минус 22 °С во фракции К-3/2.

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

INCREASE WINTER DIESEL FUEL OUTPUT BY PJSC SLAVNEFT-YANOS

M.A. Alpatov, A.E. Postnova

Scientific supervisor - **A.E. Postnova**, Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The simulation of the modernized stripping section K 3/3 of the ELOU-AT-4 unit of PJSC Slavneft-YANOS has been presented. In the Petro-SIM calculation program, the content of ballast fractions in the K-3/3 fraction removed from the ELOU-AT-4 installation was gradually reduced until the optimal result was achieved while maintaining the turbidity temperature of minus 22°C in the K-3/2 fraction.

Keywords: winter diesel fuel, turbidity temperature, K-3/3 fraction, K-3/2 fraction, ballast fractions, ELOU-AT-4 installation, Petro-SIM.

В промышленности существуют следующие распространенные способы получения зимнего дизельного топлива (ДТЗ):

1. Смешение дизельного топлива (ДТ) с керосиновой фракцией. Метод является бесперспективным вследствие высокой маржинальности реактивного топлива.

2. Депарафинизация дизельного топлива летнего на катализаторах с цеолитной основой. Каталитический процесс депарафинизации – это новый универсальный процесс переработки сырья с плохими низкотемпературными свойствами, направленный на селективное удаление n-алкановых углеводородов с использованием металлического цеолитного катализатора в среде водорода.

3. Изодепарафинизация дизельного топлива летнего с выраженной реакцией изомеризации n-парафинов на бифункциональном платиновом катализаторе. Процесс позволяет получить ДТ с предельной температурой фильтруемости ниже - 40 °С.

4. Понижение конца кипения дизельной фракции до 320 °С, что уменьшает потенциал на 10%, поэтому его применение в настоящее время не рентабельно.

5. Карбамидная или адсорбционная (цеолитная) депарафинизация. Данный способ применяется редко ввиду сложности и дороговизны процесса.

В настоящее время выпуск ДТЗ на ПАО «Славнефть-ЯНОС» увеличен за счет направления балластных фракций, выкипающих до 300 °С помимо установки депарафинизации. При хроматографическом исследовании фракции тяжелого дизельного топлива К-3/3 установки ЭЛОУ-АТ-4 было выявлено 21 % балластных фракций. Для повышения четкости деления и отпарки данных фракций из фракции К-3/3 предлагается на стриппинг-секцию К-3/3 установки ЭЛОУ-АТ-4 установить ребойлер, а в качестве теплоносителя для него использовать фракцию мазута, отводящую из куба колонны К-2.

Определение оптимального возможного количества отпариваемых балластных фракций и оценка работоспособности данной схемы производилась в расчетной программе Petro-SIM. Для чего была построена математическая модель колонны К-2 с установленным на стриппинг-секцию К-3/3 ребойлером, представленная на рис. 1. В качестве исходных данных для моделирования схемы использовались существующие параметры установки ЭЛОУ-АТ-4. Загрузка установки по нефти была постоянной и составляла 557 т/ч.

Нефть, поступающая на установку, была разогнана на узкие фракции на установке AUTOMAXX 9100.

Постепенно увеличивая тепловую нагрузку на ребойлер производилась фиксация состава фракций К-3/1, К-3/2, К-3/3. Изменение количества отбора и фракционного состава в результате поэтапного увеличения тепловой нагрузки на ребойлер представлены в табл. 1.

Дальнейшее увеличение отбора фракции К-3/2 не представляется возможным из-за ограничения по температуре теплоносителя (мазут с куба колонны К-2 выходит с температурой 340 °С).

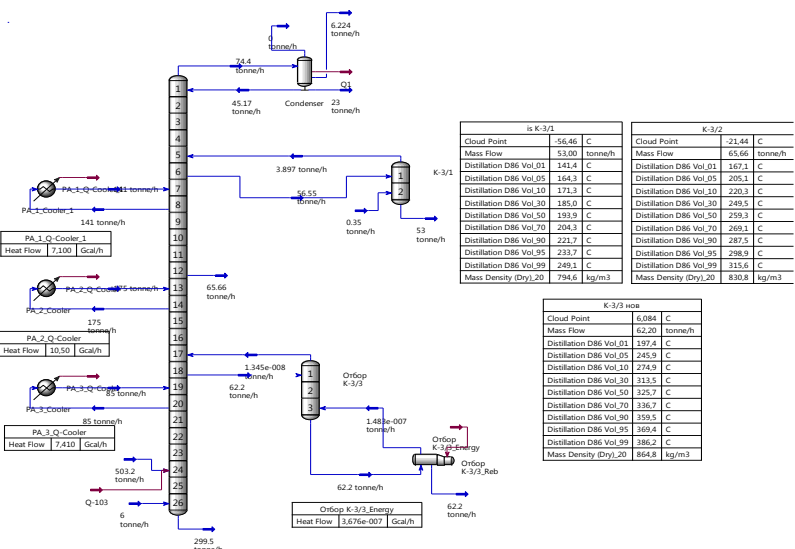


Рис. 1. Модернизированная модель стрипинг-секции К-3/3 установки ЭЛЮУ-АТ-4 в расчетной программе Petro-SIM

Таблица 1. Количество отбора и фракционный состав фракций К-3/1, К-3/2, К-3/3 при увеличении тепловой нагрузки на ребойлер

Параметр	Единицы измерения	Данные			
		Без нагрузки	1 этап	2 этап	3 этап
Нагрузка на ребойлер	Гкал/ч	0,00	0,89	2,1	2,22
1	2	3	4	5	6
Фракция К-3/1					
Cloud Point	°C	-56,46	-56,62	-57,54	-57,58
Mass Flow	tonne/h	53	53	53	53
% отбора	%	9,52	9,52	9,52	9,52
Distillation D86 Vol. 01	°C	141,4	141,5	142,3	142,5
Distillation D86 Vol. 05	°C	164,3	164,2	164,2	164,3
Distillation D86 Vol. 10	°C	171,3	171,2	170,9	170,9
Distillation D86 Vol. 30	°C	185,0	184,8	184,1	184,1
Distillation D86 Vol. 50	°C	193,9	193,7	192,8	192,8
Distillation D86 Vol. 70	°C	204,3	204,1	202,9	202,9
Distillation D86 Vol. 90	°C	221,7	221,4	218,9	218,7
Distillation D86 Vol. 95	°C	233,7	233,2	229,9	229,7
Distillation D86 Vol. 99	°C	249,1	248,9	247,3	247,2
Mass Density (Dry). 20	kg/m3	794,6	794,5	793,8	793,8
Фракция К-3/2					
Cloud Point	°C	-21,44	-20,97	-21,17	-21,17
Mass Flow	tonne/h	65,66	67,71	71,58	72,08
% отбора	%	11,79	12,16	12,85	12,94
Distillation D86 Vol. 01	°C	167,1	167,5	169,0	169,2

1	2	3	4	5	6
Distillation D86 Vol 05	°C	205,1	205,4	206,0	206,2
Distillation D86 Vol 10	°C	220,3	220,7	220,9	221,0
Distillation D86 Vol 30	°C	249,5	249,8	249,1	249,1
Distillation D86 Vol 50	°C	259,3	259,7	259,2	259,1
Distillation D86 Vol 70	°C	269,1	269,9	269,4	269,4
Distillation D86 Vol 90	°C	287,5	289,4	289,3	289,3
Distillation D86 Vol 95	°C	298,9	300,8	300,7	300,8
Distillation D86 Vol 99	°C	315,6	317,3	317,3	317,3
Mass Density (Dry) 20	kg/m3	830,8	831,2	831,1	831,1
Фракция К-3/3					
Cloud Point	°C	6,084	6,591	7,787	7,946
Mass Flow	tonne/h	62,2	60,59	56,73	56,23
% отбора	%	11,17	10,88	10,19	10,09
Distillation D86 Vol 01	°C	197,4	206,3	249,6	253,6
Distillation D86 Vol 05	°C	245,9	251,1	279,7	281,8
Distillation D86 Vol 10	°C	274,9	277,1	293,0	294,7
Distillation D86 Vol 30	°C	313,5	315,6	320,2	320,7
Distillation D86 Vol 50	°C	325,7	326,9	329,4	329,7
Distillation D86 Vol 70	°C	336,7	338,0	340,0	340,3
Distillation D86 Vol 90	°C	359,5	360,7	362,0	362,2
Distillation D86 Vol 95	°C	369,4	370,0	371,4	371,5
Distillation D86 Vol 99	°C	386,2	387,0	387,7	387,7
Mass Density (Dry) 20	kg/m3	864,8	865,9	869,5	869,9

Из полученных результатов видно, что при максимально возможной тепловой нагрузке на ребойлер и сохранении температуры помутнения фракции К-3/2, удалось отпарить 5,97 т/ч балластных фракций или 10% от вырабатываемого объема фракции К-3/3, что составляет 49,2% отданных полученных в результате хроматографического исследования.

ОКИСЛЕНИЕ 1,7-ОКТАДИЕНА ВОДНЫМ РАСТВОРОМ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В УСЛОВИЯХ МЕЖФАЗНОГО КАТАЛИЗА

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

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

Ярославский государственный технический университет

Исследована реакция взаимодействия 1,7-октадиена с водным раствором пероксида водорода в присутствии каталитической системы на основе вольфрамата натрия и межфазного катализатора. Показана возможность получения как моно-, так и диэпоксидов 1,7-октадиена в изученных условиях

Ключевые слова: эпоксидирование, 1,7-октадиен, пероксид водорода, межфазный катализ, 1,2-эпокси-7-октен, 1,2,7,8-диэпоксиоктан

OXIDATION OF 1,7-OCTADIENE WITH AN AQUEOUS SOLUTION OF HYDROGEN PEROXIDE UNDER CONDITIONS OF INTERPHASE CATALYSIS

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 reaction of interaction of 1,7-octadiene with an aqueous solution of hydrogen peroxide in the presence of a catalytic system based on sodium tungstate and an interfacial catalyst is investigated. The possibility of obtaining both mono- and diepoxides of 1,7-octadiene under the studied conditions is shown

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

Эпоксидные производные непредельных соединений, содержащих две и более двойных связей, в частности, диэпоксиды, представляют интерес для использования их в изоляционных материалах, клеях, материалах для нанесения покрытий, конструкционных материалах и электронных деталях.

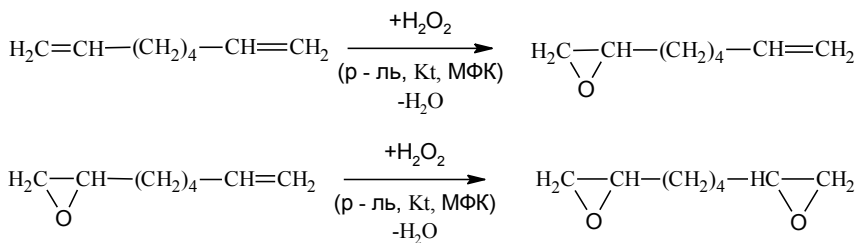
Так, 1,2,7,8-диэпоксиоктан применяется как сшивающий агент в синтезе пористых материалов для изготовления имплантов и протезов, обладающих повышенными показателями регенерации костных тканей [1]. Также его используют как добавку для стеклообразных полимеров, из которых изготавливают микроэлектронику, повышая их теплопроводность [2]. 1,2,7,8-диэпоксиоктан является подходящим сшивателем для адсорбентов на основе хитозана, применяемых для извлечения ионов Cr(VI) из воды и почвы [3].

Основным способом синтеза эпоксидов C₃ и выше является окисление олефинов органическими пероксидами, пероксикарбоновыми кислотами, а также водными растворами пероксида водорода. Диэпоксиды могут быть получены как при окислении диеновых углеводородов, так и соответствующих моноэпоксидов.

Наряду с основной реакцией эпоксиديрования протекают побочные, в которые вступают как исходные вещества, так и продукты реакции.

Способ эпоксиديрования ненасыщенных соединений пероксидом водорода при катализе гетерополикислотами в присутствии катализатора межфазного переноса известен с 80-х гг. XX века. Однако данные по окислению диенов данным способом очень ограничены. Поэтому нами был исследован процесс окисления 1,7-октадиена с использованием сокатализаторавольфрамата натрия и фосфорной кислоты в присутствии Adogen 464 и перекиси водорода в двухфазной среде органический растворитель / водный раствор.

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



Окисление 1,7-октадиена проводили при непрерывном перемешивании при температуре 60 °С в присутствие вышеуказанных сокатализаторов в течение 4 ч. За расходом и накоплением исходных веществ и продуктов реакции следили химическими и хроматографическим методами.

Полученные результаты показали, что образование моноэпоксида 1,7-октадиена в данных условиях протекает легко и быстро, тогда как скорость окисления второй двойной связи намного ниже. Это согласуется

с литературными данными по окислению органическими гидропероксидами.

Был опробован ряд хлорорганических и ароматических растворителей, хорошо зарекомендовавших себя ранее для проведения подобных реакций [4]. Показано, что природа растворителя не оказывает заметного влияния на соотношение скоростей эпексидирования первой и второй связей в 1,7-октадиене.

Получаемые 1,2-эпокси-7-октен и 1,2,7,8-диэпоксиоктан оказались достаточно устойчивы к вторичным превращениям в кислой среде до значения pH 2,0. Однако дальнейшее увеличение кислотности до pH 1,5, и особенно до 1,0 и ниже, а также повышение температуры приводит к резкому падению выходов целевых эпоксипроизводных за счет их гидратации в соответствующие диолы.

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. Chromophore-Functionalized Glassy Polymers with Large Second-Order Nonlinear Optical Responses. Synthesis, Characterization, and Architecture-Processing-Response Characteristics of Poly(p-hydroxystyrenes) Functionalized with Chiral Chromophoric Side Chains / M.A. Firestone, J. Park, N. Minami, M.A. Ratner, T.J. Marks // *Macromolecules*. 1995. Vol. 28. P. 2247-2259.
3. 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.
4. Об эффективности межфазного катализа в процессе эпоксидирования циклопентена пероксидом водорода / А.Е. Мешечкина, Л.В. Мельник, Г.В. Рыбина, С.С. Среднев, А.С. Шевчук // *Журнал прикладной химии*. 2012. Т. 85, № 4. С. 646-650.

СИНТЕЗ ЭПОКСИДНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ 1,5-ЦИКЛООКТАДИЕНА

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

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

Ярославский государственный технический университет

Исследован метод получения 1,2-эпокси-5,6-циклооктена и 1,2,5,6-диэпоксициклооктана из 1,5-циклооктадиена с использованием в качестве окислителя водного раствора пероксида водорода. Показано, что при взаимодействии циклооктадиена с водным раствором пероксида водорода в условиях межфазного катализа направление процесса зависит главным образом от значения рН водной фазы и температуры реакции.

Ключевые слова: эпоксидирование, 1,5-циклооктадиен, 1,2-эпокси-5,6-циклооктен, 1,2,5,6-диэпоксиоктан, пероксид водорода

SYNTHESIS OF EPOXY DERIVATIVES OF 1,5- CYCLOOCTADIENE

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

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

Yaroslavl State Technical University

A method for the preparation of 1,2-epoxy-5,6-cyclooctane and 1,2,5,6-diepoxy-cyclooctane from 1,5-cyclooctadiene using an aqueous solution of hydrogen peroxide as an oxidant has been studied. It has been shown that in the interaction of cyclooctadiene with an aqueous solution of hydrogen peroxide under conditions of interfacial catalysis, the direction of the process depends mainly on the pH value of the aqueous phase and the reaction temperature.

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

Эпоксидные производные циклических диенов находят применение в качестве исходных материалов для эпоксидных смол, каучуков, клеев, стабилизаторов, пенообразователей, поверхностно-активных веществ, используются в биотехнологии, кожевенной промышленности.

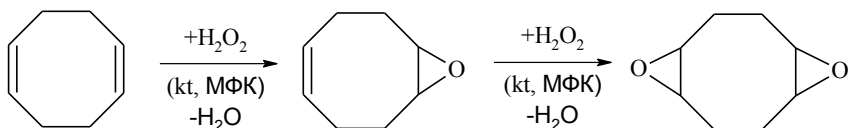
1,2,5,6-диэпоксидоктан могут использовать в производстве сополимеров как сшивающий агент вместо диизоцианатов [1], как компонент высокопрочных и стойких адгезионных составов [2]. Отверждаемый дикарбоновыми кислотами, диаминами или диолами, он служит заливочной массой для электроизоляционных целей [3].

Для получения органических соединений, содержащих эпоксидное кольцо, были разработаны различные методы: окисление непредельных углеводов молекулярным кислородом, надкислотами, органическими гидропероксидами, пероксидом водорода.

В последние десятилетия пероксид водорода рассматривается как перспективный окислитель для широкого круга органических соединений. Пероксид водорода обладает высокой активностью, позволяющей вести процесс в более мягких условиях, сопутствующим продуктом в этом случае является вода, не требующая дальнейшей переработки. Это делает его использование реальной альтернативой гидропероксидным процессам [4].

Известно, что циклические олефины и диены эпоксидируются гораздо легче, чем их линейные аналоги. Ранее на кафедре ХТОВ ЯГТУ был исследован метод получения 1,2-эпоксидциклопентана окислением циклопентена водным пероксидом водорода в условиях межфазного катализа [5].

Так как в молекуле 1,5-циклооктадиена есть две двойные связи, то образование его эпоксипроизводных можно представить следующими реакциями:



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

Было показано, что реакция окисления как 1,5-циклооктадиена, так и его моноэпоксида идет очень быстро уже при температуре 60 °С и рН 2,5. Однако, так же быстро происходят и вторичные реакции гидратации образующихся продуктов, что не позволяет достичь приемлемого выхода эпоксидов.

Установлено, что повышением рН среды и снижением температуры процесс можно направить преимущественно на получение моно- и

диэпоксида. При этом, проводя исследование с использованием разных хлорорганических и ароматических растворителей, не смешивающихся с водой, было определено, что существенного влияния на ход процесса они не оказывают.

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. Bogdanovab // 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 / Чиампини Д.: опубл. 09.03.2021.
3. Эпоксидные соежинения. URL: <https://www.freepapers.ru/35/jepoksidnye-soedineniya/65931.428579.list3.html>
4. *Данов С.М.* Процесс жидкофазного окисления пропилена пероксидом водорода в присутствии гетерогенного катализатора / С.М. Данов, А.Л. Балашов, Н.А. Петровская // Хим. промышленность сегодня. 2004. № 10. С. 17-26.
5. Синтез 1,2-эпоксициклопентана и (или) 1,2-циклопентандиола окислением циклопентена водным раствором пероксида водорода / Л.В. Мельник, А.Е. Мешечкина, Г.В. Рыбина, С.С. Среднев, Ю.А. Москвичев, О.С. Козлова // Нефтехимия. 2012. Т. 52, № 5. С. 348-353.

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕАКЦИИ КАРБОКСИЛИРОВАНИЯ ФЕНИЛГЛИЦИДИЛОВОГО ЭФИРА

М.А. Лебедева, Т.Т. Нургазизова, 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

Исследованы кинетические закономерности реакции взаимодействия фенилглицидилового эфира и диоксида углерода с образованием циклокарбоната в присутствии каталитической системы $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и ТЭАБ. Показано, что реакция описывается кинетическим уравнением первого порядка. Найдены частные порядки реакции по фенилглицидиловому эфиру, CO_2 , компонентам каталитической системы. Показано, что скорость реакции подчиняется уравнению Аррениуса, найдена энергия активации.

Ключевые слова: фенилглицидиловый эфир, диоксид углерода, карбоксилирование, циклокарбонат, кинетика, порядок реакции, энергия активации.

KINETIC REGULARITIES OF THE CARBOXYLATION REACTION PHENYLGLYCIDYL ETHER

**M.A. Lebedeva, T.T. Nurgazizova, 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

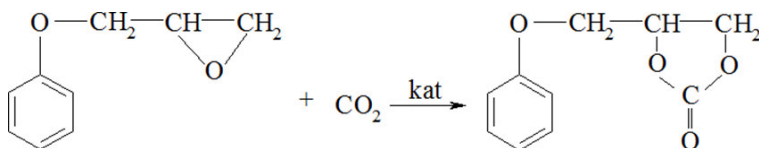
Yaroslavl State Technical University

The kinetic regularities of the reaction of the interaction phenylglycidyl ether and carbon dioxide with the formation of cyclocarbonate in the presence of the catalytic system $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and TEAB has been investigated. It has been shown that the reaction is described by a kinetic equation of the first order. Partial orders of reaction for phenylglycidyl ether, CO_2 , a component of the catalytic system has been founded. It has been shown that the reaction rate obeys the Arrhenius equation, and the activation energy has been founded.

Keywords: phenylglycidyl ether, carbon dioxide, carboxylation, cyclocarbonate, kinetics, reaction order, activation energy

Циклические органические карбонаты, полученные на основе полифункциональных эпоксидных соединений, находят применение в качестве модификаторов эпоксидных смол. При отверждении таких смол с алифатическими аминами могут быть получены неизоцианатные полиуретаны.

Ранее нами были найдены условия [1], позволяющие проводить реакцию карбоксилирования фенолглицидилового эфира (ФГЭ) с получением соответствующего циклокарбоната (ЦКФГЭ):



Показано, что выход ЦКФГЭ 97-99% при конверсии ФГЭ 97-99% может быть достигнут за 3-4 часа в следующих условиях: давление диоксида углерода 1,0-2,0 МПа, температура 80 °С, начальная концентрация ФГЭ 2,2 моль/дм³, концентрация катализатора хлорида кобальта 0,015 моль/дм³, мольное соотношение хлорид кобальта : тетраэтиламмоний бромид (ТЭАБ) 3,5 : 1. Реакция проводится в среде растворителя, в качестве которого выбран N,N-диметилформамид (ДМФА).

Целью данной работы является изучение кинетических закономерностей реакции карбоксилирования ФГЭ в циклокарбонат в присутствии растворителя ДМФА и каталитической системы CoCl₂·6H₂O – ТЭАБ и выведение кинетического уравнения реакции.

Дифференциальным методом установлено, что общий порядок реакции взаимодействия ФГЭ и диоксидом углерода равен единице. Определение частных порядков реакции по реагентам и компонентам каталитической системы также проводилось дифференциальным методом.

Показано, что в интервале начальных концентраций ФГЭ от 1,0 до 3,0 моль/дм³ при постоянстве других параметров наблюдается линейное изменение начальной скорости реакции, что свидетельствует о первом порядке по ФГЭ. Аналогично были определены частные порядки по остальным компонентам реакционной системы.

Давление CO₂ от 0,5 до 3,0 МПа не оказывает влияния на начальную скорость превращения ФГЭ, что свидетельствует о нулевом порядке по этому реагенту. Изменение концентрации хлорида кобальта от 0,010 до 0,027 моль/дм³ показало первый порядок по этому компоненту каталитической системы, также как и изменение концентрации ТЭАБ от 0,050 до 0,126 моль/дм³. Порядок реакции по суммарной каталитической системе равен единице.

Для определения временного порядка по ФГЭ дифференциальным методом была найдена скорость реакции в различные моменты времени и построена зависимость $\ln W_t = f(\ln C_t)$. Полученное значение временного порядка $n_t = 0,9227$ показывает, что образующиеся основные и побочные продукты реакции не оказывают влияние на протекание синтеза ЦКФГЭ.

Влияние температуры на скорость реакции карбоксилирования ФГЭ изучалось в интервале от 70 до 90 °С. Показано, что реакция подчиняется уравнению Аррениуса, определено значение энергии активации и предэкспоненциального множителя.

Кинетическое уравнение, описывающее процесс синтеза ЦКФГЭ в присутствии каталитической системы $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – ТЭАБ, имеет вид

$$r = 17,8 \cdot 10^{13} \cdot e^{\frac{-109,38}{RT}} \cdot C_{\text{ФГЭ}}, \quad (1)$$

где r – скорость химической реакции, моль/л·с;

R – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 Дж/моль·К;

T – температура, К;

$C_{\text{ФГЭ}}$ – молярная концентрация ФГЭ, моль/л.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прянишникова Э.С. Карбоксилирование фенолглицидилового 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. С. 174-176. 1 CD-ROM.

УДК 66.095.64:547.431.2

**КАРБОКСИЛИРОВАНИЕ ЭПИХЛОРГИДРИНА
В ПРИСУТСТВИИ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
CoCl₂·6H₂O - ТЭАБ**

П.С. Пелевин, Т.Т. Нургазизова, Г.В. Рыбина, А.В. Тарасов

Научные руководители – **Г.В. Рыбина**, канд. хим. наук, доцент;
А.В. Тарасов д-р хим. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Исследована реакция прямого каталитического превращения эпихлоргидрина в хлорметилэтиленкарбонат с использованием углекислого газа в среде растворителя на каталитической системе хлорид кобальта – тетраэтиламмоний бромид в относительно мягких условиях.

Ключевые слова: эпихлоргидрин, карбоксилирование, хлорметилэтиленкарбонат, диоксид углерода

**CARBOXYLATION OF EPICHLOROHYDRIN
IN THE PRESENCE OF CoCl₂·6H₂O
AND TEAB CATALYTIC SYSTEM**

P.S. Pelevin, T.T. Nurgazizova, G.V. Rybina, A.V. Tarasov

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

Yaroslavl State Technical University

The reaction of direct catalytic conversion of epichlorohydrin to chloromethyl ethylenecarbonate with carbon dioxide in a solvent on cobalt chloride – tetraethylammonium bromide catalytic system in soft conditions has been studied.

Keywords: epichlorohydrin, carboxylation, chloromethyl ethylene carbonate, carbon dioxide

В настоящее время процесс карбоксилирования представляет собой перспективную отрасль тонкого органического синтеза. Карбоксилирование окисей олефинов является основной реакцией синтеза циклических органических карбонатов. Пятичленные циклокарбонаты находят

применение в различных областях. Их применяют: в качестве пластификаторов, отверждающих агентов, апротонных «зеленых» растворителей [1].

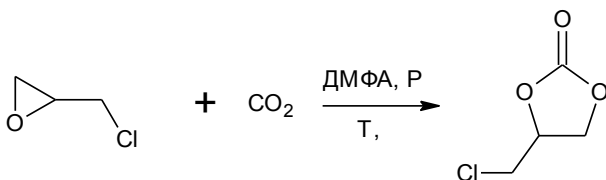
Полифункциональные циклокарбонаты, получаемые на основе эпихлоргидрина или глицидола, используются как активные разбавители и реакционноспособные модификаторы эпоксидных смол, повышающие устойчивость к истиранию, гидролизу и термоокислению отвержденных ими материалов. Используя полифункциональные олигомеры для синтеза циклокарбонатов, можно получать полимеры различного строения и с различными свойствами [2].

В настоящее время перспективным считается использование циклокарбонатов в процессе получения неизоцианатных полиуретанов, где они заменяют собой токсичные и гидролитически нестабильные изоцианаты, которые производятся из фосгена [3].

Перспективным методом получения полифункциональных циклокарбонатов является карбоксилирование эпихлоргидрина (ЭХГ) с дальнейшей заменой хлора на различные полигидроксисоединения.

Ранее на кафедре ХТОВ была опробована двойная каталитическая система, состоящая из хлорида кобальта и тетраэтиламмоний бромида (ТЭАБ), для синтеза циклокарбонатов циклических эпоксидов C_5 и выше [4].

В данной работе исследована возможность применения данной системы для синтеза карбоната ЭХГ – хлорметилэтиленкарбоната:



Реакцию проводили в среде растворителя *N,N*-диметилформамида (DMFA) в интервале температур от 80 до 120 °С. Массовая доля эпихлоргидрина в реакционной смеси составляла 20-25%, мольное соотношение хлорид кобальта : ТЭАБ равно 1 : 1. Концентрация $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ изменялась от 0,012 до 0,050 моль/дм³.

Показано, что в исследованных условиях реакция протекает с селективностью по циклокарбонату 95% и выше. Повышение температуры и концентрации катализатора сокращает время исчерпывания ЭХГ. При концентрации катализатора 0,012 моль/дм³ за 3 часа удалось достичь лишь 80% конверсии ЭХГ, тогда как при концентрации хлорида кобальта и ТЭАБ 0,050 моль/дм³ степень превращения свыше 98% достигается за 1,5 часа.

Установлено, что увеличение концентрации катализатора и начальной концентрации ЭХГ, а также снижение температуры приводит к уменьшению растворимости каталитической системы и появлению осадка. По-видимому, это связано с ограниченной растворимостью каталитических комплексов кобальта в эпоксидах, нежели в растворителе ДМФА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *North M.* Inter- and intramolecular phosphonium salt cocatalysis 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-эпоксидциклопентана / Г.Ю. Тараненко, Г.В. Рыбина, С.С. Среднев, А.Е. Мешечкина, А.В. Тарасов // *Нефтехимия*. 2019. Т.59, № 1. С. 76-82.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ДАННЫХ ПРИ ПОИСКЕ ПРИЧИН ПОЯВЛЕНИЯ ВОРСА ВО ФЛАКОНАХ В УСЛОВИЯХ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.В. Шилин

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

Ярославский государственный технический университет

В работе рассматривается алгоритм нахождения причин появления ворса во флаконах в ходе технологического процесса с использованием статистической обработки данных. Предложенный алгоритм действий позволяет выявить факторы, влияющие на качество выпускаемой продукции, своевременно разрабатывать и внедрять корректирующие и предупреждающие действия.

Ключевые слова: Поиск причин появления ворса во флаконах с препаратом, статистический анализ данных, ненормальное распределение, категоризованные диаграммы, диаграммы рассеяния, ящичные диаграммы

EXPERIENCE IN THE USE OF STATISTICAL EVALUATION OF DATA IN THE SEARCH FOR THE REASONS FOR THE DETECTION OF FLUFF IN VIALS IN A CONTINUOUS PRODUCTION ENVIRONMENT

A.V. Shilin

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

Yaroslavl State Technical University

The paper considers an algorithm for finding the reasons for the appearance of fluff in vials during the technological process using statistical data processing. The proposed algorithm of actions makes it possible to identify factors affecting the quality of products, to develop and implement corrective and preventive actions in a timely manner.

Keywords: Finding the causes of fluff in drug vials, statistical data analysis, non-normal distribution, categorized plots, scatter plots, box plots

В процессе производства стерильных лекарственных препаратов, мы столкнулись и попытались решить проблему, связанную с тем, что определенная часть продукта отбраковывается по показателю «Ворс во флаконах с препаратом». В связи с этим возникает два негативных момента:

1. Имиджевый – утрата доверия потребителя к продукции компании по причине возможности нанесения вреда здоровью пациента после приема продукции ненадлежащего качества.

2. Экономический – вероятность отзыва продукции с рынка из-за ненадлежащего качества лекарственного средства.

При проведении данной работы ставились следующие цели:

1. Поиск причины появления ворса во флаконах;
2. Устранение источника появления ворса во флаконах в ходе технологического процесса.

И задачи:

1. Сбор и обобщение информации связанной с появлением ворса во флаконах с препаратом;

2. Обоснование выбора статистической оценки;

3. Проведение статистической оценки полученной информации;

В ходе исследования были проанализированы 6 серий препарата (далее серии А, В, С, D, E, F) в составе одной производственной кампании. В соответствии с нормативной документацией, препарат разливается по 10 мл во флаконы 10R из светлого стекла, с последующей укупоркой пробкой со фторполимерным покрытием. Розлив осуществляется с использованием изоляторной технологии под ламинарным потоком воздуха в зоне А. Каждая из 6 рассматриваемых серий препарата составляла в среднем по 14,0 тыс. шт. флаконов.

При анализе массива данных использовался программный комплекс STATISTICA, позволяющий анализировать объемные массивы данных с применением статистических законов и правил. Для наглядности анализ разделен на 2 части:

а) графическая часть, в которой рассмотрены:

- категоризованные гистограммы которые дают первичное представление о нормальности распределения рассматриваемых данных;

- диаграммы рассеяния которые позволяют оценить отклонение от теоретической прямой процесса рассматриваемого параметра;

- ящичные диаграммы позволяют оценить отклонение медианы от 25 и 75 квартилей, а также визуально оценить выбросы максимальных значений рассматриваемого параметра относительно теоретических границ процесса;

- диаграммы Парето позволяют ранжировать количество выявленных флаконов с ворсом по значимости.

Представленный выше анализ выполнен на основании графического представления данных, каждый из видов графического анализа опровергает гипотезу о нормальности распределения количества единиц отбракованных флаконов с ворсом на протяжении всего технологического процесса в каждой из шести серий препарата.

б) расчётная часть, в которой применен ранговый дисперсионный анализ с использованием критерия Краскелла-Уоллиса. Данный метод анализа был применен, так как рассматриваемый массив данных имеет ненормальное распределение. За нулевую гипотезу была принята гипотеза о том, что между каждой из шести наработанных серий препарата нет статистических различий, при этом значение рассчитываемого коэффициента p должно быть больше или равно 0,05 ($p \geq 0,05$), в противном случае сравниваемые серии препарата имеют статистические различия.

Результаты, полученные на основе проведенных исследований, позволяют предположить:

1. Распределение отбракованных флаконов с ворсом по каждой из шести серий не является нормальным;

2. Серии А, В, С не имеют между собой статистических различий, так же как серии D и E. В свою очередь серии А, В, С имеют статистические различия с сериями D, E, F при этом серия D и E имеет статистические различия с серией F.

На основании полученных данных был произведен анализ каждой из стадий технологического процесса, проведены RCA (Root Cause Analysis – поиск корневых причин) сессии с привлечением экспертов предприятия, результатом которых стало выявление двух вероятных источников ворса во флаконах:

1. Одноразовый паропроницаемый пакет, в котором стерилизовались пробки для флаконов;

2. Паропроницаемый пакет многоразового использования из поликарбоневой ткани для стерилизации вибробункера.

На сериях А; В; С для стерилизации вибробункера использовался один и тот же пакет из поликарбоневой ткани, что подтверждает отсутствие статистических различий между данными сериями. На сериях D; E; F для каждой из серии препарата использовался новый пакет.

При наработке каждой из шести серий использовался новый одноразовый паропроницаемый пакет для стерилизации пробок.

Для подтверждения гипотезы о влиянии на появление ворса во флаконах с препаратом было проведено исследование паропроницаемых пакетов на ворсоотделение с привлечением специалистов лаборатории отдела контроля качества, которые подтвердили гипотезу о ворсоотделении данных материалов.

Для исключения появления подобного дефекта в будущем, с учетом или оценкой рисков, был разработан ряд корректирующих и предупреждающих мероприятий, основными из которых являются:

1. Замена паропроницаемого пакета для стерилизации пробок на пакет другого производителя с использованием иного типа материала, не выделяющего частицы и ворс.

2. Проработка вопроса по закупке пакета для стерилизации вибробункера из не ворсящего паропроницаемого материала.

После выполнения разработанных корректирующих действий предполагается, что ожидаемый экономический эффект составит снижение количества брака флаконов с препаратом до значения 0,1-0,4% от серии препарата.

Данный статистический анализ не требует специальных навыков и глубокого знания математических наук. Метод позволяет пользователю в своей деятельности оперативно и достоверно выявлять источники возникновения дефектов выпускаемой продукции при возникновении такого рода проблем. Стоит отметить, что использование такого подхода для решения задач связанных с поиском причин появления брака выпускаемой продукции не является трудозатратным, и помогает дать четкие рекомендации по изменению параметров производства, или используемых расходных материалов для минимизации несоответствий связанных с качеством продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стентон Гланц*. Медико-биологическая статистика. М.: Практика 1999. 459 с.
2. *Айвазян С.А.* Прикладная статистика и основы эконометрики: учебник для вузов / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. М.: ЮНИТИ, 1998. – 1022 с.
3. ГОСТ Р ИСО 16269-4-2017. Статистические методы. Статистическое представление данных. Часть 4. Выявление и обработка выбросов.
4. ГОСТ Р 50779.0-95. Статистические методы. Основные положения.

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В.В. Власов, А.С. Пушница, А.В. Горшкова

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

Ярославский государственный технический университет

Предложена конструкция и методики проведения исследований на экспериментальной лабораторной установке для определения низкотемпературных характеристик полимерных материалов при отрицательных температурах.

***Ключевые слова:** резиновая смесь, резина, полимерный композиционный материал, морозостойкость по эластическому восстановлению после сжатия, температурный предел хрупкости.*

LABORATORY INSTALLATION FOR DETERMINING THE PROPERTIES OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS AT LOW TEMPERATURES

V.V. Vlasov, A.S. Pushnitsa, A.V. Gorshkova

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

Yaroslavl State Technical University

The design and methods of conducting research on an experimental laboratory installation for determining the low-temperature characteristics of polymer materials at negative temperatures are proposed.

***Keywords:** rubber compound, rubber, polymer composite material, frost resistance for elastic recovery after compression, temperature limit of brittleness*

Ресурс работы изделий из полимерных композиционных материалов напрямую зависит от условий эксплуатации. Одним из наиболее значимых факторов при этом является температура, особо влияющая на упруго-прочностные свойства эластичных материалов, таких как резина или термоэластопласт. Сохранение работоспособности изделий из таких ма-

териалов при низких температурах в условиях Арктики или в узлах и деталях холодильных машин должна быть подтверждена лабораторными тестами на стадии разработки материалов [1]. Наиболее распространенными видами испытаний для таких материалов являются ГОСТ 7912-74 «Резина. Метод определения температурного предела хрупкости» и ГОСТ 13808-79 «Резина. Метод определения морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия».

В соответствии с вышеуказанными ГОСТ, определение показателей производится в криостате с допуском по температуре ± 1 °С. В качестве хладагента используется смесь этилового спирта с углекислотой. Как показала практика работ [2-4], для проведения эксперимента требуется израсходовать довольно большой объем углекислоты, что, в реалиях большинства образовательных и испытательных организаций не дает возможность проводить полномасштабные исследования низкотемпературных показателей материалов. Исходя из этого, была разработана и сконструирована специальная лабораторная установка, позволяющая проводить такие испытания, использующая в качестве генератора холода низкотемпературную холодильную машину. Общий вид установки представлен на рис. 1.



Рис. 1. Фото лабораторной установки

В данной установке емкость с хладагентом установлена на охлаждаемую плоскость холодильной машины. В емкости (криостате) установлен датчик температуры с погрешностью измерений $\pm 0,5$ °С. Показания

датчика снимаются с помощью измерителя – регулятора ОВЕН ТРМ-101, обеспечивающего управление работой холодильной машины.

В качестве предмета воздействия на закрепленный образец, используются стандартные механизмы, указанные в ГОСТ 7912-74 и ГОСТ 13808-79.

Как показала практика и исследования, результаты значений температурного предела хрупкости и коэффициента морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия, полученного на данной установке имеют абсолютное совпадение с результатами, полученными классическим способом.

Это дает возможность использовать установку как полноценное научно-исследовательское оборудование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Производство изделий из полимерных материалов / В.К. Крыжановский [и др.]. СПб.: Профессия, 2008. С. 245-308.
2. *Пушница А.С.* Влияние вулканизирующей группы на прочностные свойства эластомерных материалов при многократных деформациях в условиях низких температур / А.С. Пушница, В.В. Власов, А.Н. Черепанов // Решетневские чтения: материалы XXVI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем акад. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2022. С. 751-753.
3. *Огарев И.С.* Исследование свойств композиций на основе каучуков разной химической природы и ПВХ / И.С. Огарев, В.В. Власов, А.С. Пушница // Семьдесят пятая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с междунар. участием: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. С. 141-144.
4. *Огарев И.С.* Повышение морозостойкости композитов на основе поливинилхлорида с высокомолекулярным пластификатором / И.С. Огарев, О.Ю. Соловьева, В.В. Власов, С.В. Гудков // Семьдесят четвертая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с междунар. участием: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч.1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2021. С. 211-214.
5. *Шах В.* Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения / пер. с англ. под ред. А.Я. Малкина. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 732 с.
6. ГОСТ 7912-74. Резина. Метод определения температурного предела хрупкости.
7. ГОСТ 13808-79. Резина. Метод определения морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия.

СЕКЦИЯ «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ»

УДК 628.316.12:665.66

МАГНИТНАЯ ЖИДКОСТЬ ДЛЯ ОБЪЕМНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

А.М. Геннадьева, С.З. Калаева, Е.А. Королева, Е.Д. Бахвалова

Научные руководители – **С.З. Калаева**, канд. техн. наук, доцент;
Е.А. Королева, старший преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается исследование объемной очистки воды от нефтепродуктов с помощью магнитной жидкости, впервые полученной из пыли с вагранок.

Ключевые слова: магнетит, магнитная жидкость, переработка отходов, пыль с вагранок, эффективность очистки, нефтепродукты

MAGNETIC LIQUID FOR VOLUME WATER PURIFICATION FROM PETROLEUM PRODUCTS

A.M. Gennadieva, S.Z. Kalaeva, E.A. Koroleva, E.D. Bakhvalova

Scientific Supervisors – **S.Z. Kalaeva**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; **E.A. Koroleva**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

The study of volumetric purification of water from oil products with the help of a magnetic fluid, obtained for the first time from dust from cupolas, is considered.

Keywords: magnetite, magnetic fluid, waste processing, cupola dust, purification efficiency, oil products

Воды, загрязненные нефтепродуктами (НП), представляют особую опасность для водоемов. Нефтепродукты имеются в сточных водах практически всех предприятий, особенно опасны аварийные разливы нефтепродуктов. Для очистки воды от нефтепродуктов используются почти все известные методы очистки в зависимости от степени загрязненности воды, в частности механический, биологический, сорбционный. Однако анализ существующих методов сбора нефтепродуктов с поверхности воды, показывает, что в настоящее время отсутствует метод удаления неф-

тепродуктов из сточных и поверхностных вод, отвечающий большинству предъявляемых к ним требований.

Известен метод очистки воды от нефтепродуктов с помощью магнитных жидкостей (МЖ) [1].

Магнитная жидкость представляет собой суспензию нанодисперсных частиц магнитного материала (магнетита), стабилизированных поверхностно-активным веществом в жидкости-носителе. Магнитные жидкости применяются в различных областях промышленности и техники: в магнитных сепараторах для разделения и сепарации материалов с различной плотностью; в качестве магнитоуправляемых смазок в узлах трения; в магнитожидкостных амортизаторах и демпферах; для транспортировки лекарственных препаратов к местам, подвергнутым раковым опухолям; для очистки водных поверхностей от нефтепродуктов при аварийных разливах и катастрофах [2]. Эти технологии требуют больших объемов используемой магнитной жидкости. Высокая стоимость промышленных магнитных жидкостей, произведенных из «чистого» сырья, является одним из факторов, препятствующих широкому распространению МЖ.

В нашей работе для получения магнитных жидкостей в качестве сырья впервые был использован отход ПАО "АВТОДИЗЕЛЬ" (ЯМЗ) – пыль с вагранок. Известно, что каждая тонна выплавленного в вагранке чугуна дает 10-14 кг пыли. Вагранка даже небольшой производительности, например, 5 т/ч, за две смены работы может выбросить в атмосферу около 1 т пыли. Переработка данного отхода для получения востребованного продукта позволит предприятию значительно сэкономить на затратах и снизит антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Нами был исследован состав пыли. Исследование проводилось на рентгенофлуоресцентном спектрометре (табл. 1).

Таблица 1. Элементный состав пыли с вагранок ПАО "АВТОДИЗЕЛЬ" (ЯМЗ)

Элементы	Содержание, %	Элементы	Содержание, %
Ti	0,0892	Mg	0,2137
Mn	0,7972	Ca	24,4368
Fe	9,4434	K	0,6474
Ni	0,0041	Al	5,9903
Cu	0,0278	Si	19,3934
Zn	0,0999	Прочие	0,3680

Исследования показали, что в составе пыли имеется ион железа, необходимый для синтеза магнетита, являющегося одним из компонентов МЖ. С использованием данного отхода была получена магнитная жидкость на основе керосина с плотностью 938 кг/м³, объемной долей магнетита 5,3% и намагниченностью насыщения 11,7 кА/м.

Известно, что МЖ можно применять как для поверхностной, так и для объемной очистки сточных вод от нефтепродуктов. Для успешного омагничивания жидкость-носитель МЖ должна быть хорошо растворима в НП и нерастворима в воде. Для этой цели пригодна МЖ на основе керосине.

При поверхностной очистке воды производится распыление МЖ через специальные распылительные устройства на нефтяную пленку, затем последующий сбор «омагниченных» нефтепродуктов магнитным устройством [3].

Нами проведено исследование эффективности объемной очистки сточной воды от нефтепродуктов с применением полученной МЖ.

Для объемной очистки воды от НП с помощью МЖ нами было использовано устройство, описанное в патенте № 2602566 от 20.11.2016 [4].

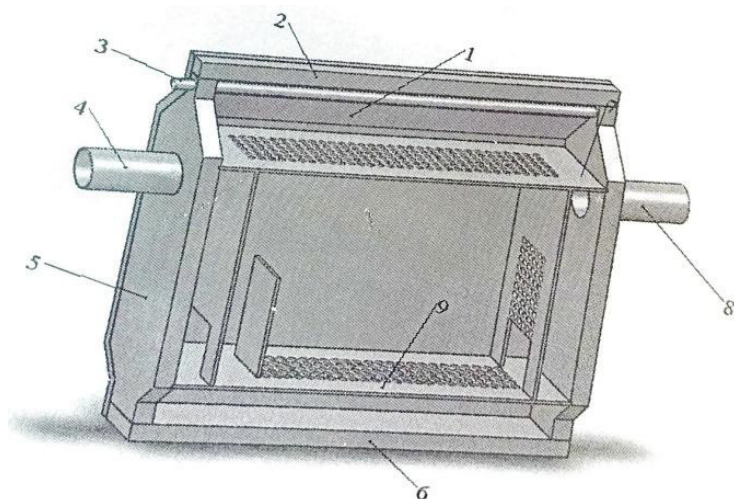


Рис. 1. Установка очистки сточных вод от нефтепродуктов с помощью магнитной жидкости:

1 - боковая стальная стенка; 2 - верхняя крышка; 3 - трубка для откачки омагниченного НП; 4 - трубка для откачки очищенной воды; 5 - боковая стенка; 6 - дно; 7 - верхняя пластина с отверстиями и двумя перегородками; 8 - трубка для подачи воды с омагниченным НП; 9 - нижняя перегородка с отверстиями и ограничительной перегородкой

Магнитная жидкость в объеме 25% от объема фильтрующего коалесцентного материала подается через входную трубку 8 в нижнюю рабочую камеру, где пребывает неоднородное магнитное поле, созданное постоянными магнитами. МЖ притягивается к стружке магнитного мате-

риала, которая находится в намагниченном состоянии, и покрывает ее тонким слоем. Сточная вода, загрязненная нефтепродуктами, поступает через трубку 8 в нижнюю камеру, заполняя пространство между стружкой ферромагнитного материала. Между пленкой магнитной жидкости и нефтепродуктами происходит соприкосновение под действием перепада давлений. Поскольку дисперсионная среда МЖ - керосин (родственная среда нефтепродуктам), происходит их активное взаимодействие, и капли нефтепродукта коалесцируют с МЖ, растворяясь в ней. В результате на поверхности стружки ферромагнитного материала образуется слой намагниченного нефтепродукта. Под действием сил Архимеда начинается движение нефтепродукта в верхние слои. По мере продвижения сточных вод через фильтрующий коалесцентный материал содержание нефтепродуктов в воде снижается, и на выходе получаем очищенную воду.

В ходе эксперимента определили эффективное соотношение МЖ:НП. Результаты эксперимента представлены на рис. 2.

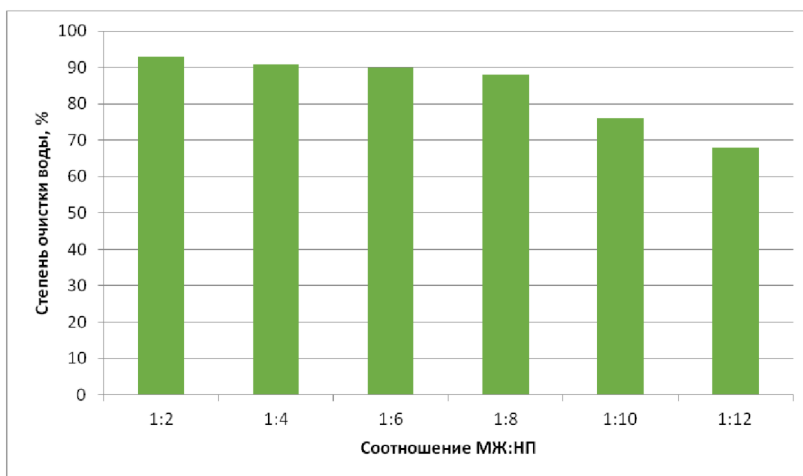


Рис. 2 Диаграмма зависимости степени очистки от количественного состава сорбента

Из рисунка видно, что эффективность объемной очистки сточной воды от нефтепродуктов с помощью магнитной жидкости, полученной из пыли с вагранок может достигать более 90%, однако нами рекомендуется более экономически приемлемое соотношение МЖ:НП как 1:8, при котором эффективность очистки сточной воды составляет 88%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фертман В.Е.* Магнитные жидкости: Справочное пособие. Минск: Высш. шк., 1988. 184 с.
2. Магнитные жидкости: получение и применение / Ф.С. Байбуртский, И.И. Сенатская, О.В. Салтыкова, М.В. Белова, С.П. Дементьев // *Естественные и технические науки*. 2022. № 12 (175). С. 263-272.
3. *Макаров В.М.* Исследование магнитных жидкостей, предназначенных для очистки воды от нефтепродуктов / В.М. Макаров, Н.А. Морозов, Ю.И. Страдомский, С.З. Калаева // *Вестник ИГЭУ*. 2007. Вып. 3. С. 41–44.
4. Пат. № 2602566 РФ, МПК C02F 1/48, C02F 1/40. Способ очистки воды от нефтепродуктов с помощью магнитной жидкости и устройство его реализации / Ю.И. Страдомский, Н.А. Морозов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина» (ИГЭУ): № 2015112535/05; заявл. 06.04.2015 публ.: 20.11.2016.

УДК 621.396.6

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ УДАЛЕННЫХ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ПОЖАРООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Д.С. Петров, А.С. Симко, А.В. Печаткин

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

Рыбинский государственный авиационный технический университет
им. П.А. Соловьева

Рассмотрены вопросы разработки радиотехнического комплекса оперативного мониторинга экологической обстановки удаленных территорий, определены функциональный состав, развёртывание и функционирование комплекса.

***Ключевые слова:** экологический мониторинг, радиотехнический комплекс, беспилотные авиационные средства, маршрутизатор-ретранслятор, телекоммуникационная ячейка, кластер*

ENVIRONMENTAL MONITORING OF REMOTE INACCESSIBLE FIRE-HAZARDOUS AREAS

D.S. Petrov, A.S. Simko, A.V. Pechatkin

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

Rybinsk state aviation technical University named after P.A. Solovyov

The issues of developing a radio engineering complex for operational monitoring of the environmental situation of remote territories are considered, the functional composition, deployment and functioning of the complex are determined.

***Keywords:** environmental monitoring, radio engineering complex, unmanned aerial vehicles, router-repeater, telecommunication cell, cluster*

Ежегодно в России пожары уничтожают катастрофический объем лесных угодий. Так только на период 21 апреля 2022 года по заявлению Главы Минприроды Александра Козлова на землях лесного фонда уже зарегистрировано больше 1020 пожаров на площади чуть более 50 тысяч гектар. Огромные пожары являются основным фактором климатического кризиса и общая картина такова, что Евразия в целом и Сибирь в частности нагреваются одними из самых быстрых темпов на Земле. Учёные утверждают, что более тёплый и сухой климат смещает бореальные и суб-

арктические торфяники от того, чтобы действовать как огнеупоры, к распространителям огня. С высыханием пожары сжигают северные торфяные месторождения и высвобождают старый углерод, ещё больше усиливая уровень углекислого газа в атмосфере [1]. Критическая ситуация требует создания систем эффективного комплексного мониторинга, предназначенных для оперативного выявления и непрерывного информационного сопровождения локальных и глобальных очагов возгораний и пожаров, возникающих в лесных массивах и торфяниках, в том числе, находящихся в труднодоступных местах, не имеющих возможности и/или имеющих ограниченную возможность подъезда техники [2].

В настоящее время существуют несколько вариантов систем экологического мониторинга. Наиболее яркими примерами являются система FIRMS и система видеомониторинга «Лесной Дозор».

Система FIRMS представляет собой радиотехнический комплекс (РТК) спутникового мониторинга на основе низкоорбитальных спутниковых группировок и/или на основе геостационарных спутников. Однако она позволяет получать информацию только о местоположении крупных и средних лесных пожаров, не позволяя отслеживать положение малых пожаров и очагов возгорания. Дополнительным существенным ограничением является возможная блокировка источников информации, расположенных на иностранных сайтах.

Система видеомониторинга лесных пожаров «Лесной Дозор» использует инфраструктуру оператора сотовой связи и позволяет автоматически обнаруживать очаги возгорания на ранней стадии, а также с высокой точностью определять их местоположение.

Однако установка оборудования на вышках ограничивает область действия: дальность действия одной вышки даже в самых благоприятных условиях не превышает 30 км в стандарте 4-го поколения, а при переходе к стандартам связи 5-го и 6-го поколения снизится в несколько раз. Кроме того, ограниченность распространения сотовой связи исключает использование данной системы в удалённых районах, а увеличение числа вышек и необходимость их технического обслуживания делает систему неприемлемо дорогостоящей.

Для комплексного решения задач экологического мониторинга актуальна разработка модульных систем способных: оперативно развёртываться на больших труднодоступных площадях благодаря доставке по воздуху с помощью беспилотных авиационных систем; осуществлять дискретную во времени или непрерывную доставку достоверной информации; использовать для формирования зоны минимальные ресурсы на основе известных и модифицированных моделей повторного использования частот и регулярных инвариантных кластерных структур (рис. 1).

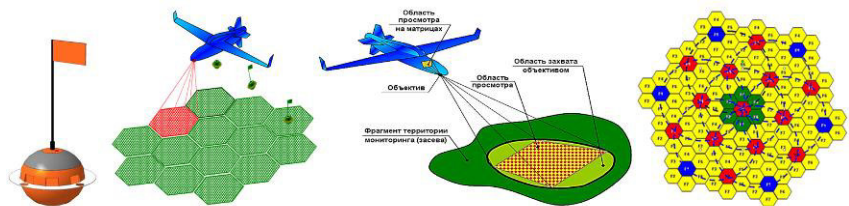


Рис. 1. Компоненты комплекса экологического мониторинга

В 2012 году первоначальный вариант проекта получил положительное заключение Центра управления в кризисных ситуациях ГУ МЧС России по Ярославской области. В настоящее время появилась возможность модернизации ранее предложенных решений благодаря развитию элементной базы и конструктивных материалов. Предлагаемый РТК является концептуальной моделью для отработки вопросов структурной, функциональной и конструктивно-технологической реализации модульного оборудования, предназначенного для оперативного выявления и непрерывного информационного сопровождения локальных и глобальных очагов возгораний и пожаров, возникающих в лесных массивах и торфяниках, в т.ч. находящихся в труднодоступных местах и не имеющих возможности (или имеющих ограниченную возможность) подъезда техники.

После развёртывания на месте РТК переходит в режим функциональной консервации с целью максимального сохранения ёмкости энергообеспечения, и автоматически активизируется в случае превышения порогового значения температуры, задымлённости или уровня угарного газа. Комплекс позволяет осуществлять мониторинг в реальном масштабе времени на основе последовательной ретрансляции информации с добавлением новых данных с фактическими пространственными и временными координатами. Предлагаемая модель РТК является альтернативным дополнением к системам спутникового мониторинга, создаваемых на основе низкоорбитальных спутниковых группировок и/или на основе геостационарных спутников.

В настоящее время в ходе эскизного проектирования выполнены следующие задачи:

1) разработана концептуальная модель функционально-связанного комплекса экологического мониторинга, являющегося оперативно развёртываемым дополнением для систем спутникового мониторинга и способным к самостоятельному функционированию;

2) синтезированы геометрически инвариантные многоэлементные регулярные кластерные структуры, обеспечивающие формирование це-

лостной радиосети и высокие энергетические показатели связности радиолиний;

3) предложены методы территориально-частотного планирования, расчёта и оценки радиусов эшелонов развёртывания и ответственности мобильных анализаторов-ретрансляторов.

Для оперативной доставки МАР в труднодоступные места и формирования на контролируемой территории зоны мониторинга предполагается использование малых беспилотных летательных, в т.ч. роботизированных комплексов самолётного или вертолётного типов, уже разработанных на предприятиях-партнёрах кафедры РТС или доступных для приобретения и модернизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пашков П.* Жуткая статистика 2022: сколько лесов уже сгорело в Русской Тайге? URL: <https://pavel-pashkov.com/2022/04/25/skolko-lesov-uzhe-sgorelo/> (дата обращения 26.02.2023)
2. *Смулов А.А.* К вопросу обеспечения непрерывного оперативного мониторинга и раннего предупреждения лесных пожаров / А.А. Смулов, А.В. Печаткин, И.Ю. Шалимов, А.В. Щеглов, // Актуальные вопросы современной техники и технологии: сб. докл. V Междунар. науч. конф. (Липецк, 29 октября 2011 гю). Липецк: Издат. центр «Гравис», 2011 С. 124-131.

ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНАЯ ОЧИСТКА ВОДЫ ОБОРОТНОГО ЦИКЛА

М.К. Кйалуэ, А.Г. Липин

Научный руководитель – **А. Г. Липин**, д-р техн. наук, профессор

Ивановский государственный химико-технологический университет

Приведены результаты экспериментального исследования процесса извлечения ионов кальция, магния, натрия из воды оборотного цикла в лабораторном электромембранном аппарате. Установлен характер влияния режимных параметров на эффективность процесса.

Ключевые слова: *электродиализ, вода, ионы, кальций, магний, натрий, извлечение, электромембранный аппарат*

ELECTRODIALYSIS TREATMENT OF RECYCLED WATER

M.K. Kialue, A.G. Lipin

Scientific Supervisor – **A.G. Lipin**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Ivanovo State University of Chemical Technology

The paper presents the results of experimental study of calcium, magnesium, sodium ions elimination from recycled water in a laboratory electromembrane apparatus. The influence of technological parameters on the efficiency of electrodialysis has been established.

Keywords: *electrodialysis, water, ions, calcium, magnesium, sodium, removal, electromembrane apparatus*

Электродиализ исторически развивался как метод опреснения воды и позже стал применяться для очистки сточных вод, регенерации технологических растворов, очистки гальваностокков [1-3].

Вода оборотного цикла химического предприятия содержит ионы кальция, магния, натрия, нитрат ионы, хлорид ионы, сульфат ионы. Использование электродиализа для обработки воды оборотного цикла позволяет получить более концентрированный солевой раствор, а также обессоленную воду, которую можно вновь использовать в качестве технической воды. Для внедрения данного метода требуются данные о влия-

нии режимных параметров на процесс электродиализа воды оборотного цикла.

Исследования проводили на лабораторной установке, состоящей из трехкамерного электродиализатора с анионообменной мембраной МА-40 и катионообменной мембраной МК-40, регулируемого источника постоянного тока АКИП 1104, перистальтического насоса и контрольных приборов для измерения силы тока и напряжения.

В качестве электродов использованы пластины из титана с оксид-рутениевым покрытием (анод) и нержавеющая сталь (катод). Рабочая поверхность каждой мембраны составляла 112 см^2 . Расстояние между электродами и мембранами и расстояние между мембранами составляло 2 мм. Объем каждой камеры равен $22,5 \text{ см}^3$. Процесс организован по циркуляционной схеме.

Были выполнены эксперименты по исследованию влияния режимных параметров на процесс электродиализа. Обрабатываемая явода подавалась в среднюю камеру на обессоливание. Через анодную и катодную камеры также циркулировала обрабатываемая вода. В средней камере аппарата происходит снижение концентрации растворенных солей. Растворы из катодной и анодной камер направляются в одну емкость концентрата. Процесс многократно повторяется. Таким образом, в данной емкости концентрация солей увеличивается, а в емкости исходного раствора уменьшается (рис. 1).

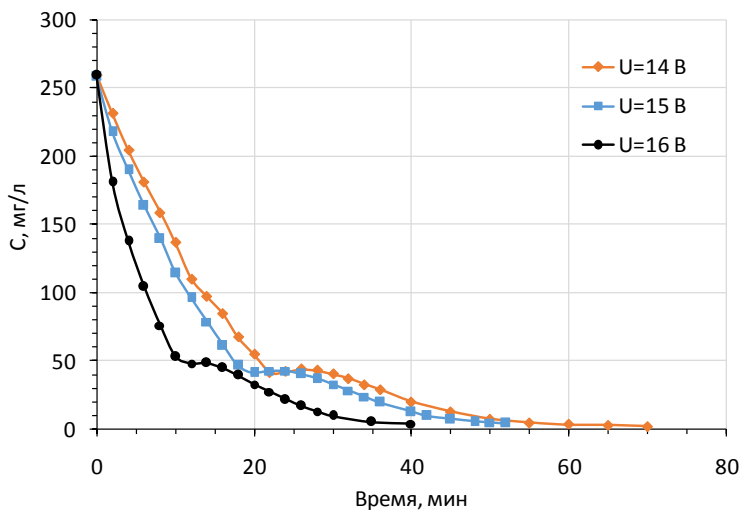


Рис. 1. Зависимость концентрации растворенных солей от времени электродиализа для воды оборотного цикла при различных напряжениях на электродах

Эксперименты проводились с одинаковыми концентрациями и объемами $V = 200$ мл исходного раствора в потенциостатическом режиме. Разность потенциалов на электродах в разных опытах была различной: 14 В, 15 В и 16 В.

В табл. 1 приведены основные параметры процесса электродиализа: U – напряжение на электродах; τ – продолжительность процесса; i_{cp} – средняя за время опыта плотность тока; j_{cp} – среднее значение потока ионов через мембрану; B – степень извлечения соли; $P_{\text{уд}}$ – удельный расход энергии на разделение раствора.

Таблица 1. Результаты экспериментов

№	U , В	τ , мин	i_{cp} , А/м ²	j_{cp} 10 ⁴ , г/с	B , доли	$P_{\text{уд}}$, кВт·ч/м ³
1	16	40	7,13	1,19	0,985	5,623
2	15	40	6,37	1,14	0,951	4,728
3	14	40	5,94	1,11	0,922	4,689

Анализ данных таблицы 1 показывает, что с увеличением напряжения удельные затраты энергии, средние значения плотности тока, степень извлечения солей, среднее значение удельного потока ионов через мембрану возрастают. Степень извлечения растворенных солей из воды оборотного цикла достигает 98,5%, что соответствует остаточному содержанию растворенных солей 3,8 мг/л. Таким образом, показана возможность очистки воды оборотного цикла с помощью гетерогенных ионообменных мембран отечественного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пилат Б.В.* Основы электродиализа. М.: Авваллон, 2004. 456 с.
2. *Липин А.Г.* Кинетика массопереноса при электродиализе растворов органических веществ и электролитов / А.Г. Липин, М.П. Бурчу, А.А. Липин // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2014. Т. 57, вып. 1. С.112-115.
3. *Липин А.Г.* Очистка сточных вод от моноаммонийфосфата в электромембранном аппарате / А.Г. Липин, А.А. Липин, Н.А. Архипов // Российский химический журнал. 2019. Т. LXIII, №№ 3-4. С.45-49.

УДК 502.63:504.53.052:504.054

ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

В.В. Евсеев

Научный руководитель – **Т.В. Извекова**, канд. хим. наук, доцент

Ивановский государственный химико-технологический университет

На территории Российской Федерации сохраняются угрозы экологической безопасности почвенного покрова, несмотря на принимаемые меры по снижению уровней воздействия на окружающую среду химических, физических, биологических и иных факторов, по предотвращению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Задачи же сохранения плодородия почв и земель актуальны для всей территории Российской Федерации. В отдельных районах Российской Федерации обострилась проблема сохранения биоразнообразия и полезных ресурсов почвенного покрова. В ряде регионов антропогенные нагрузки давно превысили установленные нормативы, и сложилась критическая ситуация, при которой возникают значительные изменения ландшафтов, происходит истощение и утрата природных ресурсов, значительно ухудшаются условия проживания населения.

Ключевые слова: почвенный покров, тяжелые металлы, окружающая среда, экологическая безопасность

THE PROBLEM OF SOIL CONTAMINATION WITH HEAVY METALS

V.V. Evseev

Scientific Supervisor – **T.V. Izvekova**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Ivanovo State University of Chemical Technology

Threats to the ecological safety of the soil cover remain on the territory of the Russian Federation, despite the measures taken to reduce the levels of environmental impact of chemical, physical, biological and other factors, to prevent natural and man-made emergencies. The tasks of preserving the fertility of soils and lands are relevant for the entire territory of the Russian Federation. In some regions of the Russian Federation, the problem of preserving biodiversity and useful resources of the soil cover

has worsened. In a number of regions, anthropogenic loads have long exceeded the established standards, and a critical situation has developed in which significant landscape changes occur, natural resources are depleted and lost, and living conditions of the population deteriorate significantly.

Keywords: *soil cover, heavy metals, environment, environmental safety*

В настоящее время разносторонний анализ проблем взаимодействия общества и природы с целью поддержания чистой и здоровой для людей экологической среды приобретает всё более важное значение. Человечество вынуждено решать, наверное, одну из самых сложных задач за время своего существования, а именно как при постоянно растущих потребностях населения, наносить минимальный ущерб природе. Почва является основной средой, в которую попадают тяжёлые металлы, в том числе из атмосферы и водной среды. Тяжелые металлы опасны тем, что они обладают способностью накапливаться в живых организмах, включаться в метаболический цикл, образовывать высокотоксичные металлоорганические соединения, изменять формы нахождения при переходе от одной природной среды в другую, не подвергаясь биологическому разложению.

Тяжелые металлы вызывают у человека серьезные физиологические нарушения, токсикоз, аллергию, онкологические заболевания, отрицательно влияют на зародыш и генетическую наследственность [1].

Тяжелые металлы относятся к приоритетным загрязняющим веществам, наблюдения за которыми обязательны во всех средах. Формально определению "тяжелые металлы" соответствует большое количество элементов. Однако, по мнению исследователей, занятых практической деятельностью, связанной с организацией наблюдений за состоянием и загрязнением окружающей среды, соединения этих элементов далеко не равнозначны как загрязняющие вещества. Основные источники загрязнения почвенного покрова тяжёлыми металлами можно разделить на естественные (природные) и искусственные (антропогенные). К естественным относят извержение вулканов, пыльные бури, лесные и степные пожары, морские соли, поднятые ветром, растительность и др. Главными, и наиболее опасными, источниками загрязнения природы тяжёлыми металлами являются антропогенные: предприятия по переработке чёрных и цветных металлов, тепловые электростанции и теплоцентрали, транспорт, машиностроительная и химическая промышленность, сельскохозяйственное производство, жилищно-коммунальные комплексы [2].

Одним из виновников всех этих бед является поступление в почву веществ (твёрдых, жидких, газообразных), биологических агентов, различных видов энергии в количествах и концентрациях, превышающих естественный для живых организмов уровень [рациональное природопользование]. Первой из главных причин возрастания нагрузки на почву

является увеличение, на протяжении двух последних столетий, объёмов производственной деятельности человечества. В сферу промышленного использования в нарастающем количестве вовлекаются разнообразные виды минерального сырья. Интенсивное воздействие человека на окружающую среду естественно отражается на почвенном покрове планеты. Твёрдые вещества техногенных выбросов в атмосферу (частицы от 10 мкм и крупнее) оседают вблизи от источников загрязнения, более мелкие частицы в составе газов переносятся на большие расстояния. Именно так проявляется загрязнение тяжёлыми металлами, которые образуют техногенные геохимические аномалии, то есть участки повышенной концентрации металлов в почвенном покрове и растительности.

Описаны случаи, когда большие количества тяжёлых металлов попадали в почву с оросительными водами, если выше водозабора в реки сбрасывались сточные воды промышленных предприятий.

В.Б. Ильин отмечает, что техногенное загрязнение почвы почти всегда полиэлементное по составу. Однако до сих пор неясно, как оценить с гигиенических позиций совместное присутствие избыточных химических элементов в почве и их возможный токсический эффект. Остается не выясненным, как складывается обстановка в системе почва-растение, каково качество получаемой растительной продукции [3].

Заметное действие на почву оказывают элементы, выбрасываемые в атмосферу через трубы предприятий. Долевое участие в атмосферном загрязнении тепловых и иных электростанций составляет 27%, предприятий черной металлургии – 24,3%, предприятий по добыче и изготовлению строительных материалов – 8,1% [4]. Тяжёлые металлы (за исключением ртути) в основном заносятся в атмосферу в составе аэрозолей. Набор металлов и их содержание в аэрозолях определяются специализацией промышленных и энергетических мероприятий. При сжигании угля, нефти, сланцев вместе с дымом в атмосферу поступают элементы, содержащиеся в этих видах топлива. Так, каменный уголь содержит церий, хром, свинец, ртуть, серебро, олово, титан, а также уран, радий и другие металлы.

Наиболее существенное загрязнение почвенного покрова вызывают мощные тепловые станции. Заметное загрязнение почвы происходит за счет транспорта. Большинство ТМ, содержащихся в пылегазовых выбросах промышленных предприятий, как правило, более растворимы, чем природные соединения. Среди наиболее активных источников поступления ТМ выделяются крупные индустриально развитые города. Металлы сравнительно быстро накапливаются в почвах городов и крайне медленно из них выводятся: цинк – до 500 лет, кадмий – до 1100 лет, медь – до 1500 лет, свинец – до нескольких тысяч лет [5]. Во многих городах мира высокие темпы загрязнения тяжёлыми металлами привели к нарушению

основных агроэкологических функций почв. Выращивание сельскохозяйственных растений, используемых в пищу вблизи этих территорий потенциально опасно, поскольку культурами накапливаются избыточные количества металлов, способные приводить к различным заболеваниям человека и животных.

Таким образом, загрязнение может быть незначительным по количеству, но длительным во времени. Кроме того, отдельные виды загрязняющих веществ могут распространяться быстрее других и на большие расстояния. Перемещение загрязнений в пространстве и их накопление в течение длительного времени часто увеличивает степень опасности загрязнения почвенного покрова [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеевко В.А.* Экологическая геохимия: Учебник. М.: Логос, 2000. 627 с.
2. Российская Федерация. Правительство. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 3 (с изменениями на 26.06.2021): [Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 № 62297]. Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2021. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 13.03.2023).
3. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва – растение. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, Новосибирск, 1991. 151 с.
4. *Родионов А.И.* Технологические процессы экологической безопасности. Гидросфера: учебник для вузов / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, В.Г. Систер. М.: Изд-во Юрайт, 2023. 283 с.
5. *Майстренко В.Н.* Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов / В.Н. Майстренко, Р.З. Хамитов, Г.К. Будников. М.: Химия, 1996. 320 с.

ГИБРИДНОЕ МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ПО СБОРУ И СОРТИРОВКЕ МУСОРА

**А.А. Смелик², Н.Г. Макаренко², Н.В. Лопатин¹,
Б.К. Оноприенко²**

Научный руководитель – **Н.Г. Макаренко**, канд. техн. наук

¹Военная академия материально-технического обеспечения

²Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа

Рассматривается проблема выброса парниковых газов в атмосферу и способ уменьшения их количества за счет сортировки отходов.

Ключевые слова: возобновляемые источники электроэнергии, отходы, экология

HYBRID MOBILE GARBAGE COLLECTION AND SORTING DEVICE

A.A. Smelik², N.G. Makarenko², N.V. Lopatin¹, B.K. Onoprienko²

Scientific Supervisor – **N.G. Makarenko**, Candidate of Technical Sciences

¹Military Academy of Logistics

²Military Innovative Technopolis «ERA», Anapa

The problem of greenhouse gas emissions into the atmosphere and a way to reduce their amount by sorting waste are considered.

Keywords: renewable energy sources, waste, ecology

Когда вы слышите о предотвращении изменения климата, то в первую очередь думаете о том, чтобы меньше ездить на автотранспорте с ДВС, тратить меньше электроэнергии и пресной воды. Но знаете ли вы, что органические и неорганические отходы, которые вы «производите», также вносят огромный вклад в глобальный выброс парниковых газов.

Органические отходы, образующиеся каждый день, содержат биоразлагаемые органические вещества, такие как кухонные отходы, садовые отходы и бумага, что в среднем составляют около 58% от общего

веса образующихся отходов. В некоторых крупных городах их количество доходит до 70%. Большая часть этого мусора оказывается на свалках.

При разложении органических отходов образуется углекислый газ и метан. И углекислый газ, и метан являются парниковыми газами, которые способствуют глобальному потеплению и изменению климата.

Неорганические отходы не вносят прямого вклада в выбросы парниковых газов. Однако выбросы парниковых газов происходит при производстве и сжигании таких отходов.

Также при производстве всех промышленных товаров используются природные ресурсы, такие как вода, топливо, металл, древесина, что приводит к выбросу парниковых газов, особенно двуокиси углерода и других загрязняющих веществ.

Переработка отходов – это то, что мы можем сделать, для борьбы с растущим объемом отходов, и в следствии, уменьшением выбросов парниковых газов.

Но для переработки отходы должны быть сортированы. Для этого операторами Технополиса ЭРА было разработано гибридное мобильное устройство для сбора и сортировки отходов.

Технический результат достигается тем, что в гибридном мобильном устройстве по сбору и сортировке отходов, содержащем контейнер для раздельного накопления отходов, роторный валковый сепаратор, конвейерные ленты, формирующие стенки, спектрометрические сканеры, пневмомодули, снабженные рядом пневмодюзов, блоки фракционных контейнеров, включающие двухпозиционную шторку, систему возобновляемых источников энергии с устройством накопления, согласно полезной модели сортировка отходов по основным фракциям в гибридном режиме происходит за счет применения роликовой и спектрометрической сортировки со встроенными пневмомодулями, организующими автоматическую сортировку отходов по фракциям и использования основных типов возобновляемых источников электроэнергии для экономии ископаемого топлива или же его полной замены, в зависимости от частоты применения устройства.

Установка содержит основной контейнер для накопления отходов 1, створку 2 (рис. 1), которая при накоплении «сухих» сортируемых отходов и полном запуске устройства открывается, тем самым отходы, попадая на роторный валковый сепаратор 3, сортируются по габаритным критериям, пропуская сквозь плоскую бумагу и полиэтилен, прокатывая вдоль оси твердый пластик (пластиковые бутылки, цистерны и др.) и металл, а также стекло. Далее, две абсолютно симметричные системы, перемещают отходы по конвейерной ленте 4 через формирующие стенки 5, обеспечивая расстановку мусора по одной линии, для последующего определения материала с помощью оптиспектрометрического сканера 6. Запасенная

энергия в виде сжатого воздуха в компрессоре 7, позволяет обеспечить пневмодюзы 8 рабочим давлением при осуществлении сдува пластика или бумаги в соответствующий фракционный контейнер 10. Двухпозиционная шторка 9, позволяет обеспечить установку дополнительного фракционного контейнера в мусорный блок, организуя сортировку стекла от металлических отходов. Применение ветроколеса 11, солнечных панелей 12 и блока накопителя электрической энергии 13, позволяет обеспечить гибридность работы сортировочного устройства, с заданным периодом простоя.

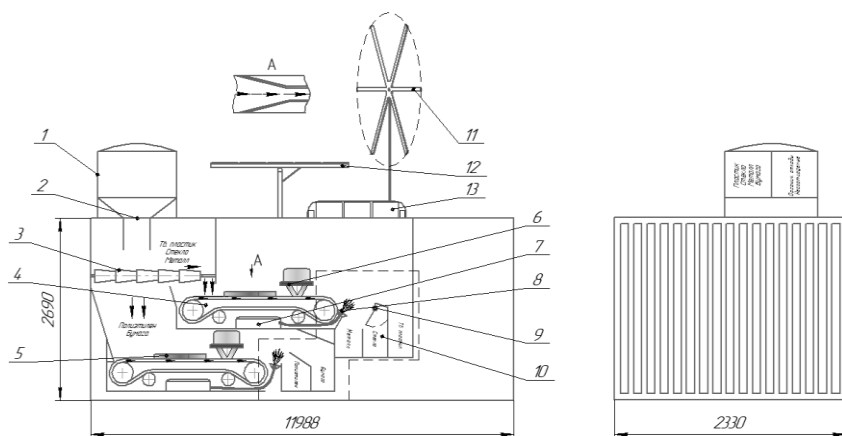


Рис. 1. Схема гибридного мобильного устройства для сбора и сортировки отходов

Установка работает следующим образом. Накопление мусора в основном контейнере, происходит в течение заданного периода простоя (не более 5 дней), в конце данного периода створка открывается, начиная процесс сортировки отходов. В конце процесса сортировки, отходы накапливаются в блоке фракционных контейнеров, по типам основных фракций.

От длительности периода простоя устройства, зависит количество ветроколес, солнечных панелей и объема блока накопителя электрической энергии. Чем длительнее период простоя, тем меньше требуется элементов возобновляемых источников электроэнергии.

Создание данного рода установок позволяет использовать возобновляемые источники энергии для снижения потребления ископаемого топлива, что повышает ее экологичность и автономность. Поставка устройства в контейнерном исполнении позволяет обеспечить мобильность всей установки по автоматизированной сортировке отходов. При этом

использование устройства уменьшит общую трудоемкость сотрудников до минимума, оставив необходимое время для проведения планового ремонта/обслуживания, тем самым увеличив эффективность работы по сортировке отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бринкман Э.* Физические проблемы экологии: учебное пособие / Э. Бринкман; пер. с англ. А.Д. Калашникова; доп. В.В. Тетельмина. Долгопрудный: Интеллект, 2012. 287 с.
2. Добровольные системы и стандарты снижения выбросов парниковых газов / М. А. Юлкин [и др.]. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. 100 с. URL: <http://www.wwf.ru/resources/publ/book/799>

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, СОДЕРЖАЩИЕ ЛАНТАН (III), ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ФОСФАТОВ ИЗ ВОДЫ

Н.В. Симатов, Б.А. Хайруллин, К.С. Рудаков, Н.Г. Макаренко

Научный руководитель – **Н.Г. Макаренко**, канд. техн. наук

Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа

В последние два десятилетия наблюдается распространение разработок материалов (пленок), содержащих лантан (III), для контроля содержания фосфатов в водной среде. В исследуемой литературе по этой теме опубликовано более 70 работ, но механизмы удаления фосфатов пленкой, а также потенциальное воздействие пленки на окружающую среду остаются неясными. В этом обзоре проведен анализ научных статей о разработке и использовании различных типов пленок и их преимущества, воздействия на окружающую среду с дальнейшим применением и усовершенствованием. Установлено, что основными преимуществами пленок для удаления фосфатов являются их способность прочно связывать фосфат в различных условиях окружающей среды (например, в широком диапазоне pH, в присутствии различных водных компонентов).

Ключевые слова: лантан, фосфат, способность поглощения фосфата, окружающая среда

EMERGING LANTHANUM (III)-CONTAINING MATERIALS FOR PHOSPHATE REMOVAL FROM WATER

N.V. Simatov, B.A. Khayrullin, K.S. Rudakov, N.G. Makarenko

Scientific Supervisor – **N.G. Makarenko**, Candidate of Technical Sciences

Military Innovative Technopolis «ERA», Anapa

In the last two decades, there has been a proliferation of developments of materials (films) containing lanthanum (III) to control the content of phosphates in the aquatic environment. More than 70 papers have been published in the literature under study on this topic, but the mechanisms of phosphate removal by the film, as well as the potential environmental impact of the film, remain unclear. This review analyzes scientific articles on the development and use of various types of films and their advantages, environmental impacts with further application and improvement. It has been established that the main advantages of phosphate removal films are their ability to firmly bind phosphate in various environmental conditions (for example, in a wide pH range, in the presence of various aqueous components).

Keywords: lanthanum, phosphate, phosphate absorption capacity, environment

Максимальная способность пленки поглощать фосфат коррелирует в первую очередь с содержанием La в пленке, тогда как кинетика реакции влияет на состав пленки и условия окружающей среды (например, pH, совместное присутствие ионов, лигандов и органических веществ).

Образование термодинамически стабильного изотропного раствора лантана может проходить при умеренно кислых значениях pH (т.е. <4,5–5,6), при высоких содержаниях солей и в присутствии органического вещества. В то же время растворенный La, вероятно, подвергнется гидролизу, связываясь с органическим веществом и соединяясь с фосфатом, образуя осадок кристаллогидрата фосфата лантана ($\text{LaPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), что снижает биодоступность La в водной среде. В целом, использование пленки представляет низкий риск побочных эффектов в воде с $\text{pH} > 7$ и умеренно-высокой бикарбонатной щелочностью, хотя следует соблюдать осторожность при рассмотрении вопроса об использовании пленки в водных системах с кислыми значениями pH. Рекомендуется проводить дополнительные исследования выделения лантана из пленки в окружающую среду и его воздействие на экологию.

Функциональность и производительность материалов, содержащих La(III), для удаления фосфатов

При проектировании и выборе типа пленки для удаления фосфатов важно учитывать ее характеристики поглощения фосфатов, такие как равновесная емкость и кинетика поглощения, а также влияние сосуществующих компонентов окружающей среды, например, природного органического вещества, конкурирующие ионы, способность к регенерации и повторному использованию, а также возможность извлечения фосфатов или прямого использования полученного фосфорсодержащего минерала в сельском хозяйстве.

В большинстве опубликованных исследований использовались изотермы адсорбции, такие как модель Ленгмюра (уравнение S1), для оценки максимальной способности поглощения фосфата, q_m (мг/г–1 пленки), из пленки. Значение q_m обычно используется для сравнения общей способности к удалению фосфатов различных пленок. Наш обзор результатов для пленок в исследуемых статьях показал, что в большинстве исследований удаление фосфатов рассматривалось как явление адсорбции, поскольку модель изотермы Ленгмюра хорошо описывала экспериментальные данные. Было высказано предположение, что механизмы адсорбции фосфата пленкой включают электростатические взаимодействия, ионный обмен, кислотно-щелочные взаимодействия Льюиса и комплексообразование внутренней сферы. Однако механизм удаления из раствора не может быть надежно выведен на основе соответствия модели изотермы и точного механизма для фосфата восприятие лантаносодержащих материалов все еще остается неопределенным. Помимо различ-

ных механизмов адсорбции наиболее часто используемым механизмом удаления фосфата пленкой является осаждение $\text{LaPO}_{4(s)}$ и его гидратированных форм.

Понимание лежащего в основе механизма удаления фосфатов с помощью лантаносодержащих материалов имеет решающее значение для оценки максимальной способности поглощения фосфата (q_m). Для определения основных физико-химических свойств пленки, которые могут регулировать поглощающую способность (q_m) отображаются как функция трех обычно измеряемых характеристик пленки: содержания La, площади поверхности и pH в точке нулевого заряда (рис. 1). Как показано на рис. 1, q_m сильно коррелирует с содержанием La для 61 лантаносодержащего материала. Кроме того, тенденция, показанная на рис. 1 соответствует стехиометрии 1:1 осаждения твердых веществ:



Несколько предыдущих исследований определили осаждение $\text{LaPO}_{4(s)}$ в качестве доминирующего механизма связывания фосфатов. В частности, охарактеризовали продукты реакции с помощью лантаносодержащего материала (LM) при контакте с фосфатом в растворе и продемонстрировали образование кристаллогидрата фосфата лантана ($\text{LaPO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}_{(s)}$). Старение кристаллогидрата фосфата лантана может привести к образованию монацита ($\text{LaPO}_4(s)$), который даже более стабилен, чем кристаллогидрат фосфата лантана.

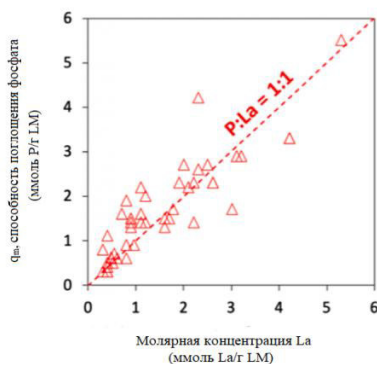


Рис. 1. Максимальная способность поглощать фосфат (q_m , оцененная по модели изотермы Ленгмюра), содержащего La (пленка), в зависимости от молярного содержания La.

Пунктирная линия на панели А представляет молярное соотношение La:P, равное 1:1

Соотношение 1: 1 между содержанием q_m и La также предполагает, что La является единственной частью пленки, которая обеспечивает специфическое связывание с фосфатом, независимо от формы La (ионная или твердая) и специфического состава пленки, который охватывает широкий спектр материалов-носителей. Хотя ожидается, что некоторые материалы-носители, например Fe_3O_4 , будут обладать способностью связывать фосфат, большинство материалов-носителей практически не удаляют фосфат перед модифицированием лантаном.

Что касается источников La, пришел к выводу, что конкретный состав или форма La (т.е. $\text{La}_2\text{O}_{3(s)}$, $\text{La}(\text{OH})_{3(s)}$, La^{3+}) может влиять на общую способность поглощения фосфата пленки, вызывая различные взаимодействия с фосфатом. Доказательства можно найти в источниках, где было исследовано влияние видов La на поглощение фосфата с использованием трех синтезированных в лаборатории магнитных катионных гидрогелей (MCH), нагруженных La: 1) La^{3+} -MCH; 2) $\text{La}(\text{OH})_3$ -MCH-W [Загрузка La, проводимая в воде (W)]; и 3) $\text{La}(\text{OH})_3$ -MCH-EW [Загрузка La проводилась в этаноле/воде (EW)]: $\text{La}(\text{OH})_3$ -MCH-EW(90, 2 мг P г^{-1}) > La^{3+} -MCH (70,5 мг P г^{-1}) \approx $\text{La}(\text{OH})_3$ -MCH-W (69,2 мг P г^{-1}).

Различия в способности поглощения фосфата между тремя пленками были приписаны большему количеству загруженного La и большей площади поверхности $\text{La}(\text{OH})_{3(s)}$ по сравнению с La^{3+} модифицированным MCH. Однако, если способность поглощения фосфата нормализовали по содержанию La, все три пленки имели одинаковую стехиометрию La:P 1:1; то есть 1,0, 0,84 и 0,93 (ммоль P/ммоль La) для $\text{La}(\text{OH})_3$ -MCH-EW (42,9 мг La г^{-1}), La^{3+} -MCH (26,4 мг La г^{-1}) и $\text{La}(\text{OH})_3$ -MCH-W (29,0 мг La г^{-1}), соответственно. Результаты литературы свидетельствуют о том, что способность к удалению фосфатов

Проведя обзор и оценку литературы, мы пришли к выводу, что основные преимущества пленки для удаления фосфатов включают ее способность сильно (и часто необратимо) связываться с фосфатом в различных условиях окружающей среды, включая широкий диапазон pH и в присутствии различных компонентов в матрицах окружающей среды. Также, по-видимому, существует очень низкий риск неблагоприятных последствий при использовании в пресноводных водоемах как для экологических организмов, так и для людей в предполагаемых дозах и принадлежащих условиях окружающей среды (т.е. в водах с pH выше 7 и щелочность бикарбоната от умеренной до высокой).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Alvarez-Manzaneda I.* Ecotoxicity screening of novel phosphorus adsorbents used for lake restoration / I. Alvarez-Manzaneda, A. Baun, L. Cruz-Pizarro, I. de Vicente // *Chemosphere*. 2019. V.222. P. 69–478.
2. *Autissier V.* Relative in vitro efficacy of the phosphate binders lanthanum carbonate and sevelamer hydrochloride / V. Autissier, S.J.P. Damment, R.A. Henderson // *J. Pharm. Sci.* 2007. V. 96. P. 2818–2827.
3. Emerging technologies for environmental remediation: Integrating data and judgment / M. Bates, K. Grieger, B. Trump, J. Keisler, K. Plourde, I. Linkov // *Environ. Sci. Technol.* 2016. 50 (1). P. 349–358.
4. Use of lanthanum for water treatment A matter of concern? / G.J. Behets, K.V. Mubiana, L. Lamberts, K. Finsterle, N. Traill, R. Blust, P.C. D’Haese // *Chemosphere*. 2020. V.239. P.124780.
5. Operational evaluation of Phoslock phosphorus locking technology in Laguna Niguel Lake. California / W.M. Bishop, T. McNabb, I. Cormican, B.E. Willis, S. Hyde // *Water. Air. Soil Pollut.* 2014. V. 225. P. 2018–2029.

УДК 504.75

ЛОКАЛИЗАЦИЯ И СБОР РАЗЛИТОЙ НЕФТИ

**Б.А. Хайруллин, Р.И. Гафтулхатов, Е.Н. Чернякович,
Н.Г. Макаренко**

Научный руководитель - **Н.Г. Макаренко**, канд. техн. наук

Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа

Рассматриваются основные средства и технологии по мониторингу аварийных разливов нефти и нефтепродуктов их ликвидации и локализации.

***Ключевые слова:** локализация и ликвидация нефтеразливов, шельф, экология*

LOCALIZATION AND COLLECTION OF SPILLED OIL.

**B.A. Khairullin, R.I. Gaftulkhatov, E.N. Chernyakovich,
N.G. Makarenko**

Scientific Supervisor - **N.G. Makarenko**, Candidate of Technical Sciences

Military Innovative Technopolis «ERA», Anapa

The main means and technologies for monitoring emergency spills of oil and oil products, their liquidation and localization are considered.

***Keywords:** localization and liquidation of oil spills, shelf, ecology*

Нефть и нефтепродукты являются одной из вредных химических загрязнений морской среды. Причинами загрязнения зачастую становятся аварии танкеров, судоходство, морская деятельность и шельфовая добыча нефти.

Один из источников загрязнения морских вод являются танкерные перевозки. Нарастивание масштабов добычи нефти, увеличение эффективности перевозок нефтепродуктов, интенсификация транспортных коридоров приводит к увеличению рисков аварийной ситуации.

Анализируя исследования ИМО, можно сделать вывод, что причины аварий на судах зачастую случаются из-за условий навигации и человеческого фактора.

Ликвидация чрезвычайных ситуаций при нефтяных разливах

Локализация и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов представляет собой multifunctional комплекс задач, для реализации очистки водных зон и берегов.

Основные задачи выполняемые при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов:

- скорая локализация разлива для ограничения распространения нефти на большую площадь;
- сокращение временного промежутка ликвидации разлива с помощью современных технологий;
- минимальный ущерб для окружающей среды.

Основными задачами системы мер при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов являются:

- путь нефтяных пятен, направленных в сторону берега;
- отклонение нефти от экологически уязвимых зон, особенно от входов в заливы.

Ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов в акватории

Существует несколько методов ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в акваториях: наблюдение и оценка; локализация разливов; осуществление сбора нефти и нефтепродуктов; используя специальные химреагенты; сжигание на местности; биологическая обработка; очистка побережья.

Рассмотрим каждый из методов более подробно.

Наблюдение и оценка

Чаще всего сырая нефть диспергируется при воздействии с природными процессами. Если разлив произошел на удаленном расстоянии от берега и была выбрана стратегия «ничего не делать», то происходит процесс наблюдения за передвижением разлива и готовности для оперативной ликвидации. Самый эффективный способ за наблюдением, скорым реагированием, а также управлением операцией по очистке нефтяного разлива является наблюдение с воздуха.

Прогнозирование движения нефтяных пятен можно выполнять зная скорость и направление поверхностного течения и ветра. Расчеты усложняются в тех случаях, когда скорость и направление течения и ветра меняются в зависимости от времени и расстояния. Для более точного определения движения течения используют гидрографическую информацию, и построив компьютерную модель можно получить более точную информацию по движению нефтяных пятен.

Моделирование позволяет совершенствовать прогноз благодаря детальной информации о водных глубинах, гидрографии, температурах вод, характеристиках нефти и режимах местных ветров.

Локализация разливов и осуществление сбора нефти и нефтепродуктов

Боновые заграждения являются основным методом локализации разливов нефти и нефтепродуктов. Их задачами является прекратить увеличения площади растекания продукта на водной поверхности, а также отвод нефти и нефтепродуктов от уязвимых загрязнению районов и уменьшению концентрации нефти для облегчения процесса уборки.

Существует три класса боновых заграждений в зависимости от применения:

I класс - для защищенных акваторий (реки и водоемы);

II класс - для прибрежной зоны (для перекрытия входов и выходов в гавани, порты, акватории судоремонтных заводов);

III класс - для открытых акваторий.

Боновые заграждения бывают следующих типов:

Самонадувные - для быстрого разворачивания в акваториях;

Тяжелые надувные - для ограждения танкера у терминала;

Отклоняющие - для защиты берега, ограждений ННП;

Несгораемые - для сжигания ННП на воде;

Сорбционные - для одновременного сорбирования ННП.

Химический способ ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов

При химическом способе ликвидации разлива нефти подразумевается использовать диспергенты и сорбенты.

Использование диспергаторов при ликвидации нефтяных разливов должно рассматриваться как вспомогательное средство к процессу естественного диспергирования. Основная задача диспергаторов заключается в способности увеличивать поверхностную площадь разлитой нефти, другими словами образовывать мелкие капли, что облегчает дальнейший процесс биологического распада под воздействием природных микроорганизмов. Основным фактором эффективности применения диспергаторов время начала ликвидации, так как под действием выветривания повышается устойчивость нефти и нефтепродуктов к устойчивости.

Состав диспергаторов содержит два компонента: смеси поверхностно-активных веществ и систем растворителей, выполняющая роль среды для поверхностно-активных веществ.

Сжигание на месте

Если план ликвидации ставит задачу сжечь нефтепродукты на месте, поднимается ряд вопросов связанных с загрязнением атмосферы, а также ставит под угрозу жизнь людей.

Обычно сжигание нефти проводят до того как появится эмульсия, так как водосодержание затруднит возгорание нефти. Эффективное сгорание нефтепродуктов достигается при нефтяном разливе толщиной не

менее 3 см. Для создания этих условий применяются керамические боны. В теории данным методом можно ликвидировать до 98% разлива, остальные 2% представляют собой смолистые остатки от сгорания нефти и собрать их весьма проблематично.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вылкован А.И.* Современные методы и средства борьбы с разливами нефти: Научно-практическое пособие / А.И. Вылкован, Л.С. Вендюлис, В.М. Зайцев, В.Д. Филатов. СПб: Центр-Техинформ, 2000.
2. *Гвоздилов В.К.* Технические средства ликвидации разливов нефтепродуктов на морях, реках и водоемах: Справочное пособие / В.К. Гвоздилов, В.М. Захаров. Ростов-на-Дону, 1996.
3. *Воробьев Ю.Л.* Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов. М.: Ин-октаво, 2005. 368 с.
4. *Щербак М.В.* Новые технологии локализации разливов нефти в море / М.В. Щербак, В.Д. Захматов // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19, № 6. С. 56–63.
5. Локальные очистные сооружения / Д.Н. Трусов, А.А. Вдовичев, А.Н. Молчанов, А.А. Смелик // Технологии энергообеспечения. Аппараты и машины жизнеобеспечения: сб. ст. II Всерос. науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития современной науки (Анапа, 17 сентября 2020). Анапа: Военный инновационный технополис «Эра», 2020. С. 167-175.

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ,
ТРАНСПОРТИРОВКЕ И ПРИМЕНЕНИИ СПГ**

**Б.А. Хайруллин, Е.Н. Чернякович, А.А. Смелик,
Н.Г. Макаренко**

Научный руководитель – **Н.Г. Макаренко**, канд. техн. наук

Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа

В статье рассмотрены основные экологические аспекты, связанные с производством сжиженного природного газа. В условиях повышения спроса на СПГ всё чаще встает вопрос о влиянии производства сжиженного природного газа на окружающую среду.

***Ключевые слова:** сжиженный природный газ (СПГ), экология, технология, аварии, разгерметизация.*

**ENVIRONMENTAL RISKS IN THE PRODUCTION,
TRANSPORTATION AND USE OF LNG**

**B.A. Khayrullun, E.N. Chernyakovich, A.A. Smelik,
N.G. Makarenko**

Scientific Supervisor - **N.G. Makarenko**, Candidate of Technical Sciences

Military Innovative Technopolis «ERA», Anapa

The article discusses the main environmental aspects associated with the production of liquefied natural gas. In the context of increasing demand for LNG, the question of the impact of liquefied natural gas production on the environment is increasingly being raised.

***Keywords:** liquefied natural gas (LNG), ecology, technology, accidents, depressurization.*

Сжиженный природный газ – нетоксичная композиция легких углеводородов, основным компонентом которой является метан, находящаяся в жидком состоянии при температуре минус 162 °С и атмосферном давлении в емкостях, представляющих собой сосуд Дьюара. Сжижение природного газа и последующая его транспортировка морским транспор-

том экономически эффективна при транспортировке на расстояния свыше 2000 км от производителя к потребителю [1].

На сегодняшний день СПГ является одним из самых перспективных энергоносителей. При ежегодном потреблении свыше 4 трлн м³ газа, 485 млрд м³ приходится на СПГ [2].

Сжижение природного газа происходит за счёт снижения температуры метанового топлива до криогенных температур. При уменьшении итогового объёма и переходе в жидкое состояние энергоносителя, СПГ сохраняет 2-й класс опасности и оказывает влияние на окружающую среду на всех стадиях подготовки и применения природного газа.

Заводы по производству СПГ оказывают влияние на животных, места обитания которых находятся в непосредственной близости к производственным территориям. Строительство цехов по сжижению природного газа требует выделения земельного отвода, не включающего ареалы обитания диких животных, растений и птиц. Земельные участки перед строительством завода необходимо подготовить. Данный процесс включает в себя вырубку деревьев, корчевание пней, прокладывание геополотна на мягких участках земли, отсыпку площадей под строительство цехов и дорог для доступа к производственным площадям грузового и пассажирского транспорта. Существует риск происшествий, связанных с нападением диких животных в ареалах обитания на рабочий персонал в процессе подготовки земель под строительство дорог, цехов, вахтовых и оградений промышленной территории в районах Крайнего Севера.

Отсыпка площадей под строительство цехов и дорог требует обустройства в непосредственной близости с объектом строительства карьера в качестве донора песка, что, несомненно, оказывает влияние на почвенную биосферу.

В процессе подготовки СПГ в атмосферу выделяются продукты горения углеводородов, энергия от сгорания которых расходуется на обеспечение энергией вахтовых поселений, транспорта и технологических процессов сжижения природного газа. Выбросы продуктов горения оказывают негативное влияние на атмосферу. Так в 2016 году выброс парниковых газов компанией ПАО «Газпром» составил 101,2 млн т CO₂, у «Сахалин Энерджи» - 3,716 млн т CO₂. А выбросы компанией «Ямал СПГ» составили 0,65 млн т CO₂ на стадии строительства линий подготовки СПГ [3].

Существует риск возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с нарушением герметичности хранилищ, промышленных трубопроводов, а также технологических установок по подготовке СПГ. Вследствие этого существует риск разлива СПГ, приводящий к катастрофическим последствиям. Возможные причины нарушения герметизации в технологической системе подготовки и транспортировки СПГ:

- нарушение требований при сборке технологических линий производства;
- несоблюдение сроков и условий проведения текущего и капитального ремонта технологического оборудования;
- воздействие на конструкции сезонных нагрузок и накопление усталостных напряжений на несущих опорах и технологических трубопроводных систем;
- воздействие на конструкции вибраций от работающих агрегатов;
- причины, связанные с человеческим фактором и несоблюдением техники безопасности.

Вопреки распространенному мнению сжиженный газ не является пожароопасным энергоносителем. Чистый СПГ не горит, не воспламеняется и не взрывается. Однако контакт образовавшегося при испарении газа с источником пламени может привести к возгоранию воздушно-топливной смеси.

Также в случае разлива СПГ по поверхности воды возможно возникновение «холодных» взрывов. Так называемый «холодный взрыв» в данном случае происходит в результате контакта и быстротечного теплообмена между теплоемкой водой и жидкого топлива, находящегося при криогенной температуре в двухфазном состоянии. Происходит резкое увеличение объема вещества (объем СПГ в 600 раз меньше объема природного газа, из которого СПГ произведен) в результате быстрого фазового перехода в газообразное состояние, и распространение зоны сверхдавления.

Последствия разлива СПГ в море:

1. Загрязнение воздушной среды углеводородными газами, а в случае контакта воздушно-газовой смеси с источником пламени последующее возгорание, и, как следствие горения, выброс в атмосферу продуктов горения природного газа;
2. Загрязнение воды жидкими углеводородами и прочими компонентами СПГ;
3. Опасность возникновения каскадных разрушений.

В заключение следует отметить, что сжижение природного газа является технически и технологически трудоёмким процессом, сопровождаемым выбросами в атмосферу парниковых газов на всех стадиях подготовки СПГ. Также существует целый ряд правил и нормативов для перевозки железнодорожным, автомобильным и прочими видами транспорта.

Регламентация перевозок как газов, так и опасного груза в общем, требует особого внимания, в связи с тем, что перевозка грузов сопряжена с риском значительного ущерба в случае несоблюдения нормативных

требований по перевозке опасных грузов. Изучение и выполнение нормативных требований позволит повысить безопасность доставки опасных грузов и существенно снизить затраты на ликвидацию последствий инцидентов при перевозке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аксютин О.Е.* Эколого-экономическая оценка морской транспортировки сжатого газа / О.Е. Аксютин, А.Г. Ишков, В.А. Грачев // Газовая промышленность. 2018. № 4 (767). С. 116-124.
2. *Дзюба А.П.* Роль сжиженного природного газа в мировом энергетическом балансе // Инновационная экономика. 2021. № 1. С. 59-74.
3. *Голубева И.А.* Выбросы парниковых газов при реализации проекта строительства завода по сжижению природного газа в условиях Арктического климата / И.А. Голубева, Е.П. Дубровина, А.Е. Акулов // Газовая промышленность. 2017. № 9 (757). С. 140-145.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТОК СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ЦЕХОВ В КАЧЕСТВЕ АДсорбЕНТА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ СТОЧНОЙ ВОДЫ

Р.Э. Калаев, В.М. Макаров, Н.Ю. Алешина, С.Д. Тимрот

Научный руководитель – **С.Д. Тимрот**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрены проблемы очистки сточных вод гальваники от ионов тяжелых металлов способом сорбции на металлургической пыли, содержащей преимущественно магнетит. Экспериментально установлена высокая эффективность очистки промывной сточной воды от Cr^{6+} при концентрациях, значительно превышающих обычно определяемых в процессе контроля. Предложена технологическая схема сорбционной очистки.

Ключевые слова: металлургическая пыль, сорбция, очистка воды от тяжелых металлов, магнетит, технологическая схема очистки воды

THE USE OF GAS CLEANING DUST OF STEEL-SMELTING SHOPS AS AN ADSORBENT OF HEAVY METALS FROM WASTE WATER

R.E. Kalaev, V.M. Makarov, N.Yu. Aleshina, S.D. Timroth

Scientific Supervisor - **S.D. Timrot**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The problems of purification of electroplating wastewater from heavy metal ions by sorption on metallurgical dust containing mainly magnetite are considered. The high efficiency of washing waste water purification from Cr^{6+} at concentrations significantly exceeding those usually determined in the control process has been experimentally established. A technological scheme of sorption purification is proposed.

Keywords: metallurgical dust, sorption, water purification from heavy metals, magnetite, water purification flow chart

Перед металлургическими заводами РФ остро стоит проблема утилизации пыли газоочисток сталеплавильных цехов, которые в настоящее время практически полностью. Идут в отвалы и шламонакопители.

Нами изучен состав такого отхода - металлургической пыли ОАО «Северсталь», г. Череповец (табл. 1).

Таблица 1. Состав металлургической пыли

№	Показатель	Величина показателя
1	Fe ₂ O ₃ , %	35,70±1,10
2	FeO, %	17,10±0,50
3	Массовая доля влаги, %	0,60±0,120
4	Медь, в пересчете на CuO, %	0,15±0,050
5	Нефтепродукты, %	0,075±0,050
6	Активная реакция, рН, ед.	11,30±0,10
7	Цинк, в пересчете на ZnO, %	19,10±4,10
8	Отсев на сите с ячейкой 63 мкм	1,320±0,350
9	Ферриты, не растворяющиеся в HCl	До 100% общей массы

В составе металлургической пыли присутствует магнетит FeO•Fe₂O₃, который может обеспечить глубокую очистку сточных вод гальваники от ионов тяжелых металлов [1]. При этом металлургическая пыль заменяет дефицитные и дорогостоящие реагенты, обычно применяемые при реагентных способах очистки промывных сточных вод гальваники.

В данной технологии очистки воды привлекает простота аппаратного оформления и применение в качестве сорбентов отходов производства на основе оксидов железа [2, 3]. Процесс очистки протекает в три стадии:

- перенос ионов тяжелых металлов (внешняя диффузия);
- диффузия ионов к активным центрам (внутренняя диффузия);
- химическая реакция.

Нами были проведены эксперименты по очистке сточных вод гальваники от ионов тяжелых металлов, в том числе от ионов хрома (VI), способом сорбции и соосаждения на магнетите. Результаты показали, что оптимальное значение рН обрабатываемых сточных вод 7,0–8,5, эффективность очистки при начальной концентрации Cr (VI) 30 мг/дм³ составила 97%. При этом соотношение Cr (VI):магнетит = 1:6, время перемешивания – 15 мин.

На основании проведенных исследований разработана технология процесса сорбционной очистки сточных вод гальванического производства с использованием магнетита.

Технологическая схема представлена на рис. 1.

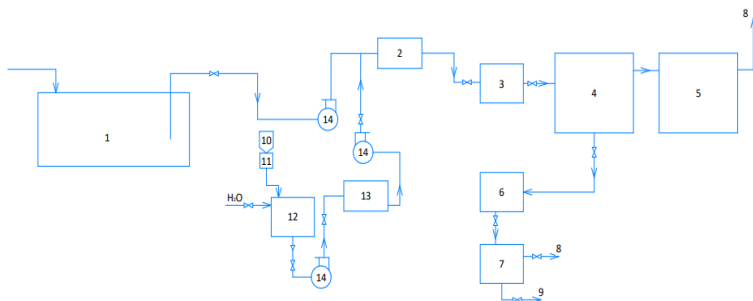


Рисунок 1. Технологическая схема сорбционного способа очистки сточных вод гальванического производства с использованием магнетита в составе металлургической пыли:

1 – сборник сточных вод, содержащих ионы хрома (VI) и ионы тяжелых металлов; 2 – смеситель сточных вод и суспензии металлургической пыли; 3 – реактор – адсорбер; 4 – отстойник; 5 – накопитель очищенной воды; 6 – сборник шлама; 7 – вакуум-фильтр; 8 – линия отбора очищенной воды; 9 – отвод шлама; 10 – бункер для металлургической пыли; 11 – весовой дозатор; 12 – смеситель для приготовления водной суспензии металлургической пыли; 13 – емкость для суспензии металлургической пыли; 14 – насосы

Очищенные воды (8) направляются для повторного использования на технологические операции, а шлам после вакуум-фильтров подвергается сушке, прокаливанию, измельчению и используется в лакокрасочных материалах как антикоррозионный пигмент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калаева С.З.* Металлургическая пыль как адсорбент ионов тяжелых металлов из промывных сточных вод гальванических производств / С.З. Калаева, В.М. Макаров, Н.Л. Маркелова, Р.Э. Калаев // *Экология и промышленность России*, 2022. Т.26, № 9. С. 10-13.
2. Бердоко П. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений: пер. с англ. / П. Бердоко, Д. Радд. М.: Изд-во «Мир», 1980. 607 с.
3. Тимофеев К.Л. Сорбционная технология извлечения цветных металлов из шахтных вод / К.Л. Тимофеев, С.С. Набойченко, А.Б. Лебедь, Л.Ф. Акулич // *Изв. вузов. Цветная металлургия*. 2012. № 6. С. 7-10.

УДК 502/504

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Д.В. Богачук, Е.С. Сергеев, О.П. Филиппова

Научный руководитель – **О.П. Филиппова**, д-р техн. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

Представлены результаты анализа химического состава гальванического шлама, исследования и анализа прочностных характеристик асфальтобетонов с полной и частичной заменой стандартного минерального наполнителя.

***Ключевые слова:** гальваношлам, утилизация, асфальтобетоны, минеральный наполнитель, прочность*

ANALYSIS OF STRENGTH PROPERTY OF ASPHALT CONCRETE BASED ON PROCESSING WASTE

D.V. Bogachuk, E.S. Sergeev, O.P. Filippova

Scientific Supervisor – **O.P. Filippova**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper presented the results of the analysis of the chemical composition of galvanic sludge, the study and analysis of the strength property of asphalt concrete with complete and partial replacement of the standard mineral filler.

***Keywords:** galvanic sludge, utilization, asphalt concrete, mineral filler, strength*

В настоящее время, в сфере промышленного производства металлических и неметаллических изделий, немалую роль играет гальваническое производство. Данная отрасль подразумевает нанесение различных видов покрытий, как декоративных, так и защитных, а также снятие слоя с поверхности материала, с целью его обеззараживания для нанесения нового покрытия (травление).

Такие производства, кроме однозначной пользы в виде улучшения качеств обрабатываемого материала, приносят и существенный вред ок-

ружающей среде. Стоки гальванических цехов содержат в себе огромное количество ионов металлов, которые в процессе очистки сточных вод выпадают в осадок в виде оксидов и гидроксидов. Такой осадок называется гальваническим шламом [1].

Гальванические шламы не одинаковы по своему составу, и могут кардинально отличаться от производства к производству. Кроме того, многие из них содержат ионы различных тяжелых металлов, которые при захоронении отхода попадают в почву и в грунтовые воды, разрушая экосистемы и вызывая серьезные нарушения здоровья человека [2].

Существует множество способов утилизации гальванических шламов. Среди них особенно можно выделить использование отхода для производства пигмента, извлечение из шлама полезных металлов, а также использование гальваношлама в производстве строительных материалов, как, например, в производстве асфальтобетонных покрытий.

Для определения возможности использования гальванических шламов в производстве асфальтобетона был выбран гальваношлам, образующийся в ходе технологического процесса на АО «СЗЗ «Вымпел». Данные о химическом составе гальваношлама приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Химический состав гальванического шлама
с АО «Судостроительный завод «Вымпел»**

Показатель	Значения, %	Методика анализа
Потери массы при просушивании	67,91±1,36	ГОСТ 21119.1-75
Потери массы при прокаливании	72,43±1,45	ГОСТ 21119.1-75
Вещества, растворимые в воде	0,07±0,01	ГОСТ 21119.2-75
Вещества, нерастворимые в соляной кислоте	4,15±0,08	ГОСТ 30550-98
Оксид железа (III)	64,43±1,29	ГОСТ 1652.3-77
Оксид хрома (VI)	16,02±0,32	ПНД Ф 14.1:2.4.52-96
Оксид меди	0,21±0,01	ГОСТ 4388-72
Оксид цинка	2,41±0,05	ГОСТ 18293-72
Оксид никеля	0	ПНД Ф 14.1:2.4.73-96
Цвет гальваношлама	Красно-коричневый	-

Составные компоненты асфальтобетона: песок, битумное вяжущее и минеральный наполнитель смешиваются с получением асфальтобетонных смесей, которые при уплотнении образуют асфальтобетонные покрытия. В данном исследовании гальванический шлам было предложено использовать вместо или совместно со стандартным минеральным наполнителем, используемым при производстве асфальтобетона. За материал сравнения был выбран асфальтобетон с использованием в качестве минерального наполнителя – доломитовой муки. Количество основных компонентов в смеси было выбрано согласно ГОСТ 9128-2013[3]

Перед изготовлением образцов асфальтобетонной смеси гальванический шлам был подвержен высокотемпературной обработке при 900 °С, для перевода всех гидроксидов металлов в оксиды, а также связывании их в нерастворимые ферриты, для уменьшения токсичности отхода и уменьшения вымывания минерального наполнителя из асфальтобетона.

Были получены три образца асфальтобетонов: с использованием в качестве минерального наполнителя прокаленного гальваношлама (50 и 100 % от необходимого количества) и доломитовой муки.

Для полученных образцов асфальтобетона, согласно ГОСТ 12801-98 [4], были определены предел прочности на растяжение при раскалывании и предел прочности на сжатие. Результаты исследования образцов с добавлением гальванического шлама представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты испытания асфальтобетонного покрытия

Доля гальваношлама в смеси	Предел прочности на растяжение при раскалывании, МПа	Предел прочности на сжатие, МПа
0	4,44	5,74
50	3,36	3,90
100	5,44	5,96
Норма по ГОСТ 9128-2013	не менее 2,0	не менее 2,0

На основании полученных результатов, асфальтобетонное покрытие с использованием в качестве минерального наполнителя гальванического шлама весьма эффективно и соответствует нормативной документации.

Как видно из полученных прочностных характеристик, наиболее эффективным является асфальтобетонное покрытие, в котором минеральный наполнитель полностью заменен на гальванический шлам. Предполагается, что ухудшение прочностных характеристик в образце с частичной заменой минерального наполнителя связано с его неоднородностью в данном случае. Гальванический шлам и доломитовая мука раз-

ные по своей структуре, вследствие чего не обеспечивается равномерность распределения минерального наполнителя в асфальтобетонной смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Источники образования шламов в гальваническом производстве. URL: <http://www.galvanicus.ru/qa/?answer=39>
2. *Макаров В.М.* Конверсия отходов с тяжелыми металлами: монография / В.М. Макаров, С.З. Калаева, Н.Л. Маркелова. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2018. 184 с.
3. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, оплимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/56847>.
4. ГОСТ 12801-98 Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/43662>.

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ
В ГАЗОЖИДКОСТНЫХ АППАРАТАХ**

Е.А. Захарова, С.А. Кorableва, Е.А. Гирба, О.Н. Кorableва

Научный руководитель – **Е.А. Гирба**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрена проблема очистки газовых выбросов в промышленности. Представлена схема экспериментальной установки работы газожидкостных аппаратов с диспергированием потока. Рассмотрено влияние рабочих параметров: давления на форсунке и диаметра частиц твердой фазы на эффективность пылеулавливания.

Ключевые слова: очистка газовых выбросов, газожидкостные аппараты, диспергирование потока, рабочие параметры, эффективность пылеулавливания

**EVALUATION OF THE EFFECT OF OPERATING
PARAMETERS ON THE EFFICIENCY
OF DUST COLLECTION IN GAS-LIQUID APPARATUSES**

E.A. Zakharova, S.A. Korableva, E.A. Girba, O.N. Korableva

Scientific Supervisor – **E.A. Girba**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The problem of cleaning gas emissions in industry is considered. The scheme of experimental installation of operation of gas-liquid apparatuses with flow dispersion is presented. The influence of the operating parameters: the pressure on the nozzle and the diameter of the solid phase particles on the efficiency of dust collection is considered.

Keywords: purification of gas emissions, gas-liquid apparatuses, flow dispersion, operating parameters, dust extraction efficiency

Во многих технических процессах в различных областях промышленности образуются потоки газов с содержанием пыли, аэрозолей, паров и газов, которые предварительно, перед сбросом в атмосферу, необходи-

мо очистить. Одним из наиболее рациональных способов очистки запыленных газов является мокрая очистка [1].

К преимуществам аппаратов мокрой очистки следует отнести высокую эффективность улавливания пыли, возможность очистки высокотемпературных газов, простоту конструкции, надежность в работе.

На практике находят широкое применение газожидкостные аппараты, основанные на принципе инерционного осаждения пылевых частиц на каплях жидкости – скрубберы Вентури и инжекционные скрубберы. Инерционное осаждение является следствием инерции пылевой частицы, принуждающей ее двигаться поперек изогнутых линий тока газа при обтекании газом капель жидкости. В результате этого частицы пали осаждаются на каплях и выводятся из газового потока.

Высокоэффективные скрубберы Вентури требуют высоких эксплуатационных расходов, связанных с необходимостью преодоления повышенного гидравлического сопротивления.

Снижение гидравлического сопротивления пылеулавливающей аппаратуры возможно при использовании для взаимодействия потоков энергии жидкой фазы, что имеет место в инжекционных аппаратах.

На эффективность пылеулавливания инжекционных аппаратов оказывает влияние большое число параметров – режимных и конструктивных [2].

Целью работы заключалась в определение влияния давления рабочей жидкости на форсунке и диаметра частиц улавливаемой пыли на эффективность процесса.

Для исследования использовалась экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1. Диаметр корпуса аппарата равнялся 250 мм. Для подачи жидкости (вода) в аппарат применялись цельнофакельные форсунки ВТИ. Диаметр сопла форсунок варьировался от 2 до 6 мм. Рабочее давление жидкости (на форсунке) изменялось в интервале от 1 до 8 кгс/см², диаметр частиц твердой фазы составлял от 1 до 50 мкм (использовался тальк с плотностью частиц 2600 кг/м³).

В процессе эксперимента дозировано в газовый поток вводился тальк. С помощью ротационного анализатора пыли определялся ее состав на входе и выходе из аппарата. По результатам экспериментов определялась эффективность улавливания для частиц диаметром 3, 5, 10, 20, 30 и 40 мкм.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1 [3].

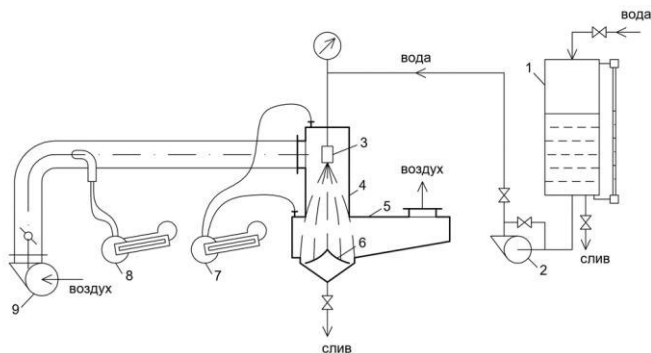


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – мерная емкость; 2 – насос; 3 – форсунка; 4 – корпус аппарата;
5 – сепаратор; 6 – отбойник; 7,8 – тягонапоромеры; 9 – вентилятор

Пример таблицы экспериментальных данных по определению эффективности пылеочистки η в зависимости от давления рабочей жидкости p_p и диаметра улавливаемых частиц $d_{ч}$. Данные приведены для случая использования форсунки с диаметром сопла 2 мм, при объемном коэффициенте инжекции 1440.

Таблица 1. Таблица экспериментальных данных

Диаметр частиц $d_{ч}$, мкм	Давление рабочей жидкости p_p , кгс/см ²			
	1	2	4	8
3	32,3	39,5	43,4	46,3
5	38,1	43,4	49,2	50,6
10	46,6	53,4	58,4	61,6
20	55,2	61,8	65,0	65,9
30	61,5	65,5	68,3	72,8
40	63,7	72,3	71,8	74,3

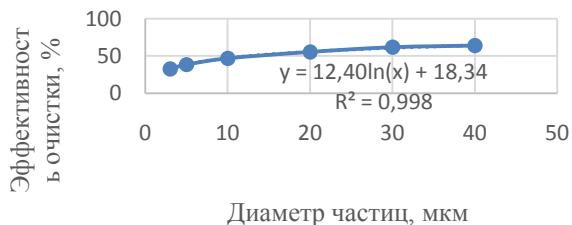


Рис.2. График зависимости эффективности очистки от диаметра улавливаемых частиц (рабочее давление жидкости 1 кгс/см²)

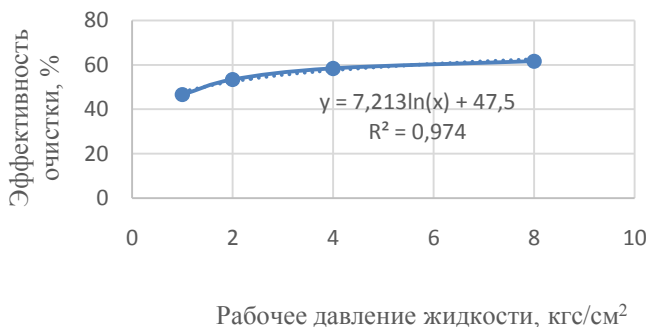


Рис. 3. График зависимости эффективности очистки от рабочего давления жидкости (диаметр частиц 10 мкм)

В результате обработки экспериментальных данных получена зависимость

$$\eta = 5,5 \ln p_p + 12,2 \ln d_q + 20, \%$$

Выводы:

1. Зависимости эффективности пылеулавливания от давления рабочей жидкости и диаметра пылевых частиц с достаточной точностью можно считать логарифмическими.

2. Необходимы дополнительные исследования для выяснения физической сущности коэффициентов в полученной зависимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Басаргин Б.Н.* Сравнительная оценка эффективности инжектора с диспергированием жидкости в процессе ректификации / Б.Н. Басаргин, В.В. Власов; Яросл. политехн. ин-т // Массообменные и теплообменные процессы химической технологии: межвуз. сб. науч. тр. Ярославль, 1976. С. 13-22.
2. *Ильин К.В.* К расчету параметров жидкогазового инжекционного аппарата / К.В. Ильин, Д.А. Червяков, Е.А. Гирба, О.Н. Кorableва // Семьдесят вторая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с междунар. участием. Т. 1. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2019. С 510-513
3. *Girba E.A.* Determination of injection ratio of liquid-gas Injection apparatuses / E.A. Girba, O.N. Korableva // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57, No. 7-8, November (Russian Original Nos. 7-8, July–August, 2021). DOI: 10.1007/s10556-021-00972-3.

УДК 504.5

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

Е.Д. Бахвалова, Д.И. Коженова, Е.А. Королева

Научный руководитель – **Е.А. Королева**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются вопросы исследования содержания элементов химического состава железосодержащих отходов методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии. Классификация методов элементного анализа. Возможные пути утилизации железосодержащих отходов в зависимости от их элементного состава.

Ключевые слова: железосодержащие отходы, элементный состав, рентгенофлуоресцентная спектроскопия, утилизация отходов

INVESTIGATION OF THE COMPOSITION OF IRON-CONTAINING WASTE BY X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETRY

E.D. Bakhvalova, D.I. Kozhenova, E.A. Koroleva

Scientific Supervisor - **E.A. Koroleva**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

The issues of studying the content of elements of the chemical composition of iron-containing waste by X-ray fluorescence spectrometry are considered. Classification of methods of elemental analysis. Possible ways to dispose of iron-containing waste, depending on their elemental composition.

Keywords: iron-containing waste, elemental composition., x-ray fluorescence spectrometry, waste disposal

Среди методов элементного анализа наиболее распространены масс-спектрометрия и атомно-эмиссионный спектральный анализ (оба метода с индуктивно связанной плазмой, искровым или тлеющим разрядом), атомно-абсорбционная спектрометрия и рентгенофлуоресцентный анализ, различные варианты активационного анализа.

Характеристиками любых методов могут служить: задача, решаемая данным методом; сущность метода; его метрологические особенности (материал, необходимый для реализации на нем метода; диапазон действия метода; материальные затраты на его проведение; безопасность метода и другие.

Метод элементного анализа – это метод, имеющий своей задачей определение в фиксированном субстрате химического элемента и отдельных его фаз. К физическим методам элементного анализа относятся спектральные методы - методы, основанные на особенностях электронных оболочек атомов анализируемых элементов.

Строение электронных оболочек атома элемента определяет его индивидуальные атомные спектры элемента. Это могут быть спектры испускания (эмиссионные спектры), если при переходе атома из возбужденного состояния в стабильное электрон переходит на более низкий энергетический уровень, испуская при этом квант излучения с энергией, равной разности энергии этих двух квантованных по энергии уровней, или спектры поглощения (абсорбционные спектры), если за счет поглощения поступающего и вне излучения, энергия которого равна разности энергий каких-либо двух квантованных по энергии электронных уровней атома, электрон переходит на более высокий энергетический уровень.

Концентрация элемента в обоих случаях определяется по интенсивности линии (линий) его атомного спектра - испускания или поглощения соответственно.

Если переходы электронов происходят обычно во внешних электронных оболочках атома, линии возникающих атомных спектров находятся в оптическом диапазоне (оптические спектральные методы: атомно-эмиссионный, атомно-абсорбционный, атомно-флуоресцентный спектральный анализ (спектроскопия)), если переходы во внутренних электронных оболочках, то в рентгеновском диапазоне (рентгеноспектральные методы: рентгеноспектральный флуоресцентный анализ, рентгенорадиометрический анализ (флуоресцентный, абсорбционный)).

Для исследования состава отходов применялся физико-химический метод воздействия - рентгеноспектральный флуоресцентный метод. Результаты исследования образцов на рентгенофлуоресцентном спектрометре EDX6000B представлены в табл. 1

В результате обработки полученных данных по элементному составу отходов было установлено высокое содержание таких элементов, как:

- железа, концентрация которого колеблется от 2,6 до 24,7 мг/м³;
- алюминий, концентрация которого составляет примерно 5,9 мг/м³;
- кремний, его концентрация от 13 до 19 мг/м³.

Таблица 1. Элементный состав отходов, % мас.

Образец	Железосодержащий отход Оленегорского горно-обогатительного комбината	Пыль с электрофильтров Череповецкого металлургического комбината «Северсталь»	Гальваношлам завода «Сатурн»	Станция обезжелезивания	Отходы вогранок
Cr	0	0	0	0	0
Cu	0	0,0047	0,1283	0	0,0278
Mn	0,2675	2,0944	0,0455	0,7703	0,7972
Zn	0	0,9976	0,1530	0	0,0999
Fe	24,6755	15,2835	2,5715	22,6134	9,4434
Ni	0	0	9,6090	0	0,0041
Pb	0,0014	0,1150	0,0014	0,0014	0,0017
Na	0,0905	0,0905	0,0905	0,0905	0,0905
Mg	0	0,4509	0	0	0,2137
Al	5,9268	5,9237	5,9848	5,9095	5,9903
Si	13,1434	13,6024	13,5073	15,7120	19,3934
P	0,2225	0,0867	0,0747	0,2391	0,0957
S	0,1278	0,1821	0,0532	0,1315	0,1220
K	0,0142	1,7433	5,0784	0	0,6474
Ca	0	3,4633	0	1,9659	24,4368
Ti	0	0	12,8127	0	0,0892
V	0	0	0,1589	0	0
As	0,0002	0,0280	0,0002	0,0002	0,0056
Rb	0,0079	0,0031	0	0,0059	0,0017
Sr	0,0017	0,0017	0,0021	0,0028	0,0137
Zr	0,0197	0,0198	0,0197	0,0197	0,0208
Ba	0	0	0	0	0,0163

Также было установлено, что в отходе вогранок содержится большое количество кальция, оно составляет 24,4 мг/м³.

В одном из образцов было обнаружено высокое содержание титана, равное 12,8 мг/м³.

Таким образом, исследование элементного состава железосодержащих отходов методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии показало содержание в составе отходов ионов железа, алюминия, кремния, а также ионов никеля и титана.

В целях утилизации отходов предлагаем использовать железосодержащие отходы в качестве сырья для производства магнитных жидкостей.

Если введение железосодержащих отходов в случае альтернативных технологий является только своеобразным видом их захоронения, то при получении магнитных жидкостей природоохранная отрасль получает дополнительный источник дешевого сырья с одновременным решением проблемы утилизации отходов 2-3 классов опасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ровин Л.Е.* Рециклинг железосодержащих отходов / Л.Е. Ровин, С.Л. Ровин // *Литьё и металлургия*. 2006. №2-2 (38). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/retsikling-zhelezosoderzhaschih-othodov> (дата обращения: 22.12.2022).
2. *Промышленный рециклинг техногенных отходов: Учебное пособие / В.Н. Кокорин, А.А. Григорьев, М.В. Кокорин, О.В. Чемаева.* Ульяновск: УлГТУ, 2005. 42 с.
3. *Переработка железосодержащих пылевидных отходов металлургического производства в пигмент для окраски строительных материалов // Бутлеровские чтения: [https://butlerov.com].* URL: <https://butlerov.com/files/reports/2013/vol35/9/94/94-102.pdf> (дата обращения: 22.12.2022)

К ВОПРОСУ ОБ ОБРАЗОВАНИИ И ПЕРЕРАБОТКЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

В.Е. Кочиков, Н.Е. Бузина, К.М. Муратова

Научный руководитель - **К.М. Муратова**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается способ образования, химический состав золошлакового отхода (на примере) и направление его использования. Также представлены данные о Российской и мировой практике переработки ЗШО.

Ключевые слова: золошлаковый отход (ЗШО), химический состав, золоотвал

QUESTION OF THE FORMATION AND PROCESSING OF ASH AND SLAG WASTE

V.E. Kochikov, N.E. Buzina, K.M. Muratova

Scientific Supervisor - **K.M. Muratova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

¹YaroslavlStateTechnicalUniversity

The method of formation, the chemical composition of ash and slag waste (for example) and the direction of its use are considered. Data on the Russian and world practice of ASW processing are also presented.

Keywords: Ash and slag waste (ASW), chemical composition, ash dump

Для получения электроэнергии в России ежегодно сжигается около 125 млн тонн топлива, что означает свыше 20 млн тонн образующихся золошлаковых отходов к уже накопленным 1,5 млрд тонн, занимающим площади более 28 тыс. га.

Под золошлаковыми отходами (ЗШО) понимают отходы, которые образуются в топках тепловых электростанций (ТЭС), теплоэлектростанций (ТЭЦ) и котельных при горении угля, горючего сланца, торфа или жидкого топлива (мазута). Химический состав ЗШО крайне неоднороден и колеблется в значительных пределах, поскольку для сжигания используются угли из разных месторождений, имеющих неодинаковый химиче-

ский состав. Полученные отходы относятся к 4 и 5 классам опасности для окружающей среды – малоопасному и практически неопасному соответственно. Исключение составляет единственный в этой группе отход 3-го класса опасности, образующийся при сжигании мазута, так как зола содержит высокую концентрацию ванадия.

Известно, что одним из негативных последствий образования ЗШО является необходимость в больших площадях размещения, т.е. тысячи гектаров отчужденной земли, выведенной из сельскохозяйственного оборота. Помимо огромных количеств данных образующихся отходов, стоит отметить также высокое пылеобразование и вымывание компонентов золы с последующим их попаданием в почву и подземные воды в зонах влияния отвалов с ЗШО. Таким образом, вопрос о целесообразности и возможности переработки данного отхода является весьма актуальным.

Мировая практика переработки золошлаков имеет значительные успехи. Так, в европейских странах доля утилизированных ЗШО давно превышает 50%, а в островной Японии это значение находится в пределах 97-100%. Среди лидеров переработки золы и шлака стоит отметить Индию, США, Австралию, а также Китай, который потребляет уголь в огромных количествах и является рекордсменом по объему образованных и утилизированных отходов. В Польше и Китае золошлаки активно используются для извлечения алюминия, а в Канаде как сырье для получения более дешевого урана.

Усредненный химический состав золошлаковой массы состоит в основном из оксидов кремния и алюминия, железа, кальция, магния, триоксида серы и других элементов.

В качестве примера сложного и уникального состава ЗШО можно оценить образец угольной золы Кемеровской ГРЭС (табл. 1) [1].

Исходя из данных таблицы, можно заметить высокое содержание редких металлов, которые, в свою очередь, можно извлечь для использования в качестве ценных компонентов, например галлий для лазеров, стронций для высокотемпературных сверхпроводников, ванадий для авиационных и космических материалов, и т.д. Добавленные при производстве стали ниобий и ванадий делают металл легче, снижают на 40% вес конструкций при возведении мостов, высотных зданий, газо- и нефтепроводов. При этом срок эксплуатации сооружений возрастает в 2-3 раза. В ЗШО могут аккумулируются и такие стратегические металлы, как бериллий, германий, литий, цирконий.

Таблица 1. Химический состав образца угольной золы Кемеровской ГРЭС [1]

Прямой анализ - лазерный пробоотбор		Анализ экстракта	
Название	Содержание, %	Название	Содержание, %
SiO ₂	63,5±0,1	Sr	1,1 · 10 ⁻¹
TiO ₂	0,64±0,03	Zr	2,3 · 10 ⁻⁴
Al ₂ O ₃	23,5±0,1	Nb	7,0 · 10 ⁻⁴
Fe ₂ O ₃	3,3±0,6	Ga	9,0 · 10 ⁻⁴
MnO	0,018±0,001	Y	1,4 · 10 ⁻³
CaO	5,3±0,3	Mo	8,7 · 10 ⁻⁴
MgO	0,86±0,08	Au	1,2 · 10 ⁻⁴
Na ₂ O	0,97±0,06	Ag	-
K ₂ O	1,1±0,1	Eu	6,8 · 10 ⁻⁵
P ₂ O ₅	0,29±0,06	La	1,9 · 10 ⁻³
BaO	0,28±0,06	Pr	7,0 · 10 ⁻⁴
		Nd	1,5 · 10 ⁻⁴
		V	5,3 · 10 ⁻³

Для изучения вопроса об использовании золошлаков в качестве вторичных ресурсов интересно отметить исследование [2], в котором были взяты пробы золошлаковых отходов с Юргинской ТЭС. Химический анализ показал, что основными компонентами золошлаковых отходов являются оксиды кремния и алюминия, содержание которых составляет 56,25 % и 21,84 % соответственно. В ходе проведения гранулометрического состава было выявлено, что 60 % частиц составляет размер от 10 до 70 мкм. Эффективная удельная активность радионуклидов в золошлаковых материалах, рассчитанная по активностям изотопов радия (226Ra), тория (232Th), калия (40K) составляет 175 Бк/кг. Авторами исследования делается общий вывод, что полученные данные показали возможность использования золошлаковых материалов в качестве вторичного сырья с целью снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Направления использования золошлаков существует немало, но среди основных можно отметить следующие[3]:

- производство строительных материалов
- производство сорбентов
- получение геополимерных материалов
- получение ценных компонентов
- сельское хозяйство.

Таким образом, золошлаковые отходы тепловых электростанций представляют собой универсальный материал для использования в различных отраслях промышленности, в т. ч. в строительстве, металлургии, сельском хозяйстве и т.д., а из выделенных из них ценных компонентов можно получать различные виды продукции. Кроме того, вовлечение отходов теплоэнергетики в промышленный оборот позволит не только сократить их количество на золоотвалах, но и предотвратить складирование новых партий, создавая безотходные производства, и снизить нагрузку топливно-энергетического комплекса на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Черкасова Е.В.* Выделение концентратов редких и редкоземельных элементов из золошлаковых отходов Кузбаса / Е.В. Черкасова, А.В. Тихомирова, Т.Г. Черкасова, А.А. Головачев // Вестник Кузбасского гос. техн. ун-та. 2021. № 2, С. 35-39. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-2-35-39.
2. *Мальчик А.Г.* Изучение золошлаковых отходов для их использования в качестве вторичных ресурсов / А.Г. Мальчик, С.В. Литовкин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 9-1. С. 23-27.
3. *Худякова Л.И.* Использование золошлаковых отходов тепловых электростанций / Л.И.Худякова, А.В. Залуцкий, П.Л. Палеев // XXI век. Техносферная безопасность. 2019. №4(3). С. 375-391. DOI: 10.21285/2500-1582-20193-375-391.

УТИЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ В СФЕРЕ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Е.О. Курочкина, Е.С. Сергеев, О.П. Филиппова

Научный руководитель – **О.П. Филиппова**, д-р техн. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

Представлены результаты исследования и анализа физико-химических показателей чистого и отработанного моторных масел, а также степени протекания процессов разрушения моторных масел.

***Ключевые слова:** моторное масло, утилизация отработанных масел, консервационная смазка*

UTILIZATION OF OIL WASTES IN THE SPHERE OF ANTI-CORROSION PROTECTION

E.O. Kurochkina, E.S. Sergeev, O.P. Filippova

Scientific Supervisor – **O.P. Filippova**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper presented the results of the study and analysis of the physicochemical characteristics of clean and motor oil wastes, as well as the degree of occurrence of the processes of destruction of motor oils.

***Keywords:** motor oil, utilization of oil wastes, storage compound*

В настоящее время существует проблема загрязнения окружающей среды различными отходами, что негативно сказывается на ее качестве и здоровье человека. Одним из крупнотоннажных отходов, вносящих существенный вклад в загрязнение окружающей среды, являются отработанные моторные масла.

Моторные масла – это смазочные материалы, которые предназначены для использования в дизельных, авиационных и карбюраторных двигателях внутреннего сгорания. Для определения качества моторного масла используют многочисленные показатели, такие как вязкость, тем-

пература вспышки, плотность, коксуемость, зольность массовая доля воды и механических примесей, индекс вязкости, щелочное и кислотное число и многие другие показатели [1].

В процессе использования моторные масла теряют свои потребительские и эксплуатационные свойства, вследствие чего становятся отработанными. В состав отработанных масел входят различные смолы, карбены, асфальтены, полиолефины и другие токсичные компоненты. Несанкционированный слив или сжигание отработанных масел влечет за собой загрязнение почвы и водных ресурсов, а также вызывает заболевания различной степени тяжести у человека [2]. Поэтому утилизация данного отхода является чрезвычайно актуальной задачей.

Защита окружающей среды от негативного воздействия отработанных моторных масел предполагает их обезвреживание с удалением загрязнений, опасных для человека и окружающей среды, а также утилизацию и очистку от них природных объектов. Одним из вариантов утилизации отработанных масел является его применение в качестве дисперсионной среды для приготовления пластичных консервационных смазок, исследованию чего и посвящена данная статья.

В ходе лабораторных исследований были определены физико-химические показатели отработанного моторного масла, значения которых представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика отработанного моторного масла

Показатель	Вид масла		Метод испытания
	Чистое [3]	Отработанное	
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм ² /с	13,1	9,0	ГОСТ 33
Индекс вязкости	160	97	ГОСТ 25371
Массовая доля механических примесей, %	0	3,8	ГОСТ 10577
Массовая доля воды, %	0	1,8	ГОСТ 2477
Температура вспышки в открытом тигле, °С	220	170	ГОСТ 4333
Щелочное число, мгКОН/г	10	2,8	ГОСТ 11362
Зольность сульфатная, %	1,25	2,1	ГОСТ 1461
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,857	0,885	ГОСТ 3900

Как видно из указанных данных, показатели отработанного масла существенно уступают показателям чистого масла. Из этого следует, что применять данное масло по назначению не представляется возможным и его необходимо утилизировать.

В процессе эксплуатации моторные масла подвергаются целому ряду превращений. Основными являются: гидролиз, окисление и пироге-нетический распад. Поэтому представляло интерес выяснить степень протекания данных процессов, используя ИК-спектры, и сравнить его с чистым моторным маслом. ИК-спектры представлены на рис. 1.

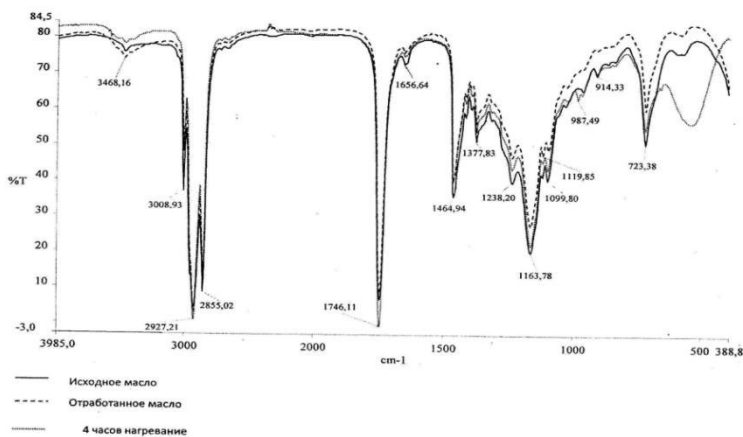


Рис. 1. ИК-спектры моторных масел

Как видно, ИК-спектры отработанного моторного масла практически не отличаются от чистого моторного масла. Таким образом, значительных структурных изменений в составе отработанного масла не происходит. Вследствие этого, отработанное моторное масло можно применять в качестве дисперсионной среды при производстве консервационных пластичных смазок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моторные масла. URL: <https://www.bibliofond.ru>.
2. Опасность отработанного масла и методы его переработки. URL: <https://eccoo.ru/othody/pererabotka/opasnost-otrabotannogo-masla-i-metody-ego-pererabotki.html>.
3. Rosneft Magnum Ultratec 10W-40. URL: https://rosneft-lubricants.ru/netcat_files/products_pds/Rosneft_Magnum_Ultratec_10W-40_rus.pdf

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Я. Лупанов, А.А. Андреев, Е.Л. Никитина

Научный руководитель - **Е.Л. Никитина**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Сложности очистки воды от загрязнения нефтепродуктами связаны с динамичностью ее и трансформацией в водной среде. Исследованы сорбционные свойства природных органических сорбентов для очистки воды от нефтепродуктов.

Ключевые слова: фуранокумарин, спиртовой экстракт, фотосенсибилизирующая активность, гидрофобность

INVESTIGATION OF SORPTION PROPERTIES OF NATURAL MATERIALS

A.Ya. Lupanov, A.A. Andreev, E.L. Nikitina

Scientific Supervisor – **E.L. Nikitina**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The difficulties of water purification from oil pollution are associated with its dynamism and transformation in the aquatic environment. Sorption properties of natural organic sorbents for water purification from petroleum products are investigated.

Keywords: furanokumarin, alcohol extract, photosensitizing activity, hydrophobicity

В связи с увеличением числа чрезвычайных ситуаций, связанных с добычей и транспортировкой нефтепродуктов, негативное воздействие на окружающую среду становится все более значительным. Нефтепродукты характеризуются высокой токсичностью для живых организмов, образуют пленку на поверхности воды, которая препятствует аэрации и нормальному самоочищению природных вод. Чаше других в качестве адсорбента используется гранулированный активированный уголь. Процесс получения активированных углей сложен и трудоемок, требует большого количества сырья, энергии и использования специального оборудования.

Поэтому стоимость таких углей довольно высока. Использование природных материалов в качестве сорбентов для очистки воды от нефтепродуктов более выгодно с экономической и экологической точек зрения.

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) в настоящее время представляет собой опасный вид растения, распространение которого вышло из-под контроля. Площади, заросшие сорняками, в нашей стране увеличиваются с каждым годом. Поскольку местная растительность подавляется из-за веществ, выделяемых борщевиком, то это угрожает биоразнообразию природных экосистем. Одно растение может дать до 100 тысяч семян, которые могут до 12-15 лет сохранять всхожесть в почве, что затрудняет эффективную борьбу с этим растением. Токсические свойства БС связаны с алкалоидами, тритерпеновыми сапонинами, флавоноидами, фуранокумаринами, включающими в себя бергаптен, ксантоксин, изопимпинелин [1, 2]. Ежегодно тратятся миллионы рублей на химическую обработку площадей БС, что приводит к загрязнению окружающей среды канцерогенными метаболитами гербицидов. Уникальность сорного растения состоит в том, что он способен хорошо расти в климатических условиях северного Нечерноземья, где пшеница и кукуруза произрастают довольно слабо, кроме того, он не требует затрат на посевные работы. Несмотря на широкую распространенность борщевика Сосновского в различных регионах нашей страны и наличие в нем многих веществ, обладающих полезными свойствами, переработка этого растения не проводится. Известно, что химический состав зеленой массы борщевика богат и разнообразен. В нем содержится 20-25% углеводов, около 10% сахаров, до 16% белков, до 14% каротина, 17 аминокислот, дубильные вещества, эфирные масла, глютамин, витамины С и Р, фолиевая кислота, полисахариды, кумариновые вещества, макро- и микроэлементы [3,4]. В зависимости от выбранного экстрагента в экстракты из БС переходят те или иные группы соединений, содержащиеся в данном растительном сырье. В составе зеленой массы борщевика находятся поверхностно-активные вещества, которые растворимы и нерастворимы в воде. В водные экстракты переходят белки, пектины и реакционноспособные группы, которые могут образовывать соли или комплексные соединения с ионами переходных металлов на поверхности различных минералов[5]. Главным образом в органические экстракты попадают фуранокумарины, кислородсодержащие гетероциклические биологически активные соединения, обладающие фотосенсибилизирующей активностью. Трудно идентифицировать все вещества, содержащиеся в экстрактах, по полученным УФ-спектрам из-за возможного перекрытия максимумов в сложной многокомпонентной системе. Было обнаружено, что УФ-спектры спиртового экстракта характеризуются четкими максимумами поглощения при 670, 459, 414, 320, 246. Экстракты из листьев борщевика

содержат фурукумарины псораленового ряда - псорален (246 нм), бергаптен, ксантотоксин.

Для оценки сорбционных свойств и очистки воды от нефтепродуктов использовали сорбент на основе высушенной и измельченной зеленой массы БС. Установлено, что длительное удерживание нефтепродуктов поверхностью сорбента из борщевика по сравнению с традиционными органическими сорбентами обусловлено его гидрофобностью, высокой удельной поверхностью. Соединения, входящие в состав БС, обуславливают его высокую поверхностную активность и плавучесть. Фурукумарины, содержащие гетероциклические кольца с алкильными заместителями, повышают гидрофобность поверхности сорбента из борщевика. Установлено, что эффективность очистки от нефтепродуктов традиционными органическими сорбентами составляет более 99% при начальной концентрации нефтепродуктов 3400 мг/дм³. Самые высокие значения сорбционной емкости были обнаружены у сорбента из БС, который обеспечивает хорошее поглощение нефтепродуктов и его долговременную непотопляемость и плавучесть.

Таким образом, имеется возможность переработки ядовитого БС с выделением полезных природных компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мусихин П.В.* Исследование физических свойств и химического состава борщевика Сосновского и получение из него волокнистого полуфабриката / П.В. Мусихин, А.И. Сигаев // Современные наукоемкие технологии. 2006. № 3. С. 65-67ю
2. *Орлин Н.А.* Об извлечении кумаринов из борщевика // Успехи современного естествознания. Биологические науки. 2010. №3. С. 13–14.
3. Содержание фурукумаринов в борщевике Сосновского / П.С. Зориков, Д.М. Черняк, Л.Ю. Юрлова [и др.] // Естественные и технические науки. 2012. № 6(62). С. 152–154.
4. *Ложкин А.В.* Природные кумарины: методы выделения и анализа / А.В. Ложкин, Е.И. Сакалян // Химико-фармацевтический журнал. 2006.,Т. 40, № 6. С. 47–57.
5. *Иванова Т.А.* О влиянии компонентов органического экстракта борщевика на флотацию золотосодержащих сульфидов / Т.А. Иванова, В.В. Гетман, Е.В. Копорулина // Химия растительного сырья. 2019. № 2. С. 311-319.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД

И.Г. Тихонова, В.О.Рыбакова, Е.Л.Никитина

Научный руководитель - **Е.Л.Никитина**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Экономия ресурсов является определяющим фактором, важнейшей функцией ресурсосберегающего типа развития, хозяйственного механизма в экономике. Цель работы – разработка технологии очистки минерализованных вод для снижения антропогенного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: детоксикация, оборотное водоснабжение, реагентная очистка, минерализация

IMPROVING THE QUALITY OF CLEANING MINERALIZED WATERS

I.G. Tikhonova, V.O. Rybakova, E.L. Nikitina

Scientific Supervisor – **E.L. Nikitina**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Resource saving is the determining factor, the most important function of the resource-saving type of development, the economic mechanism in the economy. The purpose of the work is to develop a technology for the treatment of mineralized waters to reduce anthropogenic impact on the environment.

Keywords: detoxification, recycled water supply, reagent purification, mineralization

Основной причиной неудовлетворительного экологического состояния водных объектов при добыче полезных ископаемых заключается в сбросе больших объемов загрязненных вод, что связано с перегруженностью и низкой эффективностью работы имеющихся очистных сооружений или их отсутствием. Многолетний сброс загрязненных сточных вод приводит к снижению самоочищающей способности большинства рек и в частности, малых рек. Увеличение объемов добычи, переход на более глубокие горизонты, приводят к возрастанию

объемов шахтных вод, вследствие чего происходит истощение подземных водоносных горизонтов. Откачиваемые шахтные воды обладают повышенной минерализацией, содержат значительное количество взвешенных веществ, нефтепродуктов и других загрязнений. Сброс минерализованных шахтных вод оказывает негативное влияние на флору и фауну водоемов, а при длительном воздействии приводит к засолению [1, 2].

Основной причиной неудовлетворительного экологического состояния водных объектов вблизи добычи полезных ископаемых заключается в сбросе больших объемов загрязненных вод, что связано с перегруженностью и низкой эффективностью работы очистных сооружений или их отсутствием. Острой проблемой большинства предприятий добывающей промышленности является высокая минерализация откачиваемых карьерных вод, что не соответствует требованиям их на сброс. 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 [3].

В качестве объекта исследования использовали карьерные воды Оренбургской области, которые по своим качественным показателям не удовлетворяют нормативным требованиям на сброс и обладает повышенной минерализацией, высокой жесткостью, содержит значительное количество взвешенных веществ, сульфатов и ряд других загрязнений.

Технология очистки состоит в осаждении загрязняющих веществ с добавлением реагентов, ускоряющих образование гидроксидов и утилизации, образующегося осадка. В качестве реагентов первичной стадии очистки использовалось известковое молоко, сорбирующее на поверхности хлопьевидного осадка, выделенные из раствора сульфаты, хлориды, которые удаляются фильтрацией. Поддержание оптимального уровня pH необходимо для выбора дальнейшей очистки природными сорбентами [4]. Последующее использование реагентов, приводит к удалению сульфатов, снижает жесткость и позволяет использовать очищенную воду в оборотном водоснабжении.

Технологическим решением обезвреживания осадков реагентной очистки является использование природных детоксикантов, обладающих большим спектром биологического действия, улучшающих структуру почвы и экологически безопасных в применении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплексная переработка шахтных вод / Пилипенко А.Т. [и др.]; под ред. А.Т. Пилипенко. Киев: Техника, 1985. 183 с
2. Куликова А.А. Формирование шахтных вод и анализ способов их очистки / А.А. Куликова, Ю.А. Сергеева, Т.И. Овчинникова // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 7. С. 135-145.
3. How to tackle the stringent sulfate removal requirements in mine water treatment — A review of potential methods / H. Runtti, E.T. Tolonen, S. Tuomikoski, U. Lassi, T. Luukkonen // Environmental Research. 2018. Vol. 167. P. 207–222.
4. Никитина Е.Л. Исследование технологии очистки карьерных вод / Е.Л. Никитина, Д.С. Веселов // Семьдесят четвертая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с междунар. участием. апрель 2021 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2021. С. 238-242. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

УДК 665.1:633.7/9

РАЗРАБОТКА АНТИМИКОТИЧЕСКОЙ РЕЦЕПТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО

М.М. Курбонов, А.В. Павлов

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

Ярославский государственный технический университет

Разработана рецептура резиновой смеси на основе светлого крепа с использованием масла, полученного из семян борщевика Сосновского. Осуществлен сравнительный мониторинг кинетики образования этанола с использованием сахаромыцетов, в том числе в присутствии антимикотической резины.

Ключевые слова: *светлый креп, борщевик Сосновского, сахаромыцеты, антимикотическая резина*

DEVELOPMENT OF AN ANTIMYCOTIC FORMULATION USING THE PRODUCTS OF PROCESSING OF BORSCHT OF SOSNOVSKY

M.M. Kurbonov, A. V. Pavlov

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

Yaroslavl State Technical University

The formulation of the rubber compound has been developed, based on light crepe with the use of oil obtained from the seeds of borscht Sosnovsky. Comparative monitoring of the kinetics of ethanol formation using saccharomycetes, including in the presence of antimycotic rubber, was carried out.

Keywords: *light crepe, Sosnovsky's hogweed, saccharomycetes, antimycotic rubber.*

Все надземные части растения борщевика Сосновского обладают антимикотическими свойствами, но наиболее эффективными в борьбе с грибковыми микроорганизмами считаются продукты, получаемые из листьев и масла плодов этого растения [1, 2]. Поэтому проблема использования сахаросодержащего сока борщевика Сосновского в качестве сырья

для производства биотоплива может быть успешно решена только при нейтрализации антимикотических свойств изучаемого растения. Лишь полная нейтрализация антимикотических веществ позволит сахаромецетам производить этанол из сахаросодержащего сока, как это описывалось в информационных источниках прошлых лет, когда существовал только борщевик сибирский.

В данной работе представлены результаты сравнительного мониторинга кинетики образования этанола с использованием сахаромецетов из водного сахарного сиропа (100 граммов сахара на 1 литр воды) в присутствии антимикотической резины, резины не содержащей антимикотические добавки и без резины (табл.1).

Таблица 1. Кинетика образования этанола сахаромецетами

Время взаимодействия	Система		
	Вода+сахар	Резина без добавки	Резина с антимикотической добавкой
12	0	0	0
24	0,1	0,1	0,1
36	0,2	0,2	0,2
48	0,25	0,25	0,25
60	3	2,5	2,5
72	3,5	3	3
84	3,5	2,9	2,9
96	3	2,8	2,8
108	11,5	10,5	10

Резиновые смеси изготавливались при одинаковых режимах смешения на лабораторных вальцах на основе светлого крепа с серной вулканизирующей группой. Отличие заключалось в том, что в одном из вариантов в качестве мягчителя использовалось масло, полученное из зрелых семян борщевика Сосновского (антимикотическая добавка) [3], а в рецептуре другого варианта использовалось индустриальное масло И-12А. Полученные резиновые смеси подвергали автоклавной обработке при температуре (150 ± 5) °С в течение 15 минут. Во время мониторинга вся поверхность вулканизаторов была полностью погружена в водный раствор сахара с сахаромецетами из расчета 10 граммов грибков на 1 литр раствора. Содержание этанола определяли с использованием рефрактометра RHW-80VATC.

Из таблицы 1 следует, что при данных условиях (температура среды – (25 ± 2) °С) заметное повышение концентрации этанола начинается после 60 часов наблюдений, резкий рост содержания этанола наблюдается к 108 часам мониторинга. Однако заметного влияния антимикотической добавки на торможение скорости образования этанола не наблюда-

ется, что, по-видимому, связано с автоклавным воздействием на антимикотинтовую субстанцию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Данин Е.М.* Элементарные методики изучения антибактериальных свойств фитонцидов высших растений // Фитонциды. Их роль в природе и значение для медицины. Л.: Институт экспериментальной медицины, 1952. 334 с.
2. *Дуброва Г.Б.* Действие фитонцидов некоторых растений на плесневые грибы // Фитонциды, их роль в природе и значение для медицины. М., 1952. С.15-21.
3. Пат. № 2787795 Российская Федерация, Способ получения компаунда эфирного масла из семян борщевика Сосновского в вазелиновом масле / А.В. Павлов; заявитель и патентообладатель ЯГТУ. № 2021130730; заявл. 20.10.21; опубл. 12.01.23, Бюл. № 1.

УДК 574.6

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ БОРЬБЫ С ЭВТРОФИКАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Э.М. Сафиуллин, О.В. Ладыгина

Научный руководитель – **О.В. Ладыгина**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Приводится обзор существующих методов борьбы с поступлением в водоёмы биогенных элементов. Проанализированы существующие технологические решения для минимизация риска эвтрофикации. Для улучшения показателей качества воды необходимо использование гидротехнических сооружений, содержащих биоплато.

Ключевые слова: эвтрофикация, цветение токсичных водорослей, цианотоксины, загрязнение, технология, биомиметические сети

OVERVIEW OF MODERN TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR COMBATION OF SURFACE WATER

E.M. Safiullin, O.V. Ladygina

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

Yaroslavl State Technical University

The article provides an overview of existing methods of combating the entry of biogenic elements into reservoirs. The existing technological solutions for minimizing the risk of eutrophication are analyzed. To improve water quality indicators, it is necessary to use hydraulic structures containing bioplateau.

Keywords: eutrophication, harmful algal blooms, pollution, technology, biomimetic networks

Проблема эвтрофирования водоемов не теряет своей актуальности, поскольку с ростом численности населения крупных городов возрастает антропогенная нагрузка, в том числе и на водные объекты. В настоящее время разработаны различные методы борьбы с данным видом загрязнения водоемов. Некоторые из них находятся лишь на стадии исследования, другие же имеют ряд побочных эффектов. Важным шагом в регули-

ровании процесса эвтрофикации является снижение количества биогенных элементов, поступающих в водные объекты.

Важной целью в предупреждении этого вида загрязнения является уменьшение концентрации азота и фосфора в системе озер или водохранилищ. Поэтому важно внедрять методы управления сточными водами, чтобы эффективно снизить уровень эвтрофикации и цветения токсичных водорослей.

При рассмотрении методов необходимых для снижения биогенного загрязнения следует уделять большее внимания экологическим решениям, которые устойчиво контролируют эвтрофикацию и не имеют негативных побочных эффектов для экосистемы. Технологические решения для предотвращения эвтрофикации водоёмов условно можно разделить на физические, химические и биологические.

К химическим методам борьбы с эвтрофикацией является применение альгицидов используемых для уничтожения водорослей. Принцип действия препаратов основан на разрушении клеток фитопланктона. Проводимые исследования говорят о пагубном влиянии данной технологии на водоем из-за резкого высвобождения цианотоксинов, что в последствии может оказать воздействие на донных гидробионтов и человека [1].

Также возможно применение химических флокулянтов для осаждения питательных веществ и водорослей из толщи воды. Исследования подобных соединений показывают малую эффективность в долгосрочном периоде, что требует многократного введения препарата в водоём. Флокулянт непосредственно влияет на водородный показатель воды, что может вызвать гибель рыб и других организмов [1].

В настоящее время исследуются также способы совместного применения альгицидов и флокулянтов. Комплексная обработка синезеленых водорослей вначале альгицидом – пероксидом водорода, ограничивающим вегетацию, а затем модифицированной глиной, способствующей осаждению биомассы на дно показала свою эффективность экспериментально. Масштабного разрушения клеток водорослей не наблюдалось и, как следствие, цианотоксины не попали в больших количествах в толщу воды [2].

Дестратификация водоема относится к физическим методам борьбы с эвтрофикацией. Данная технология осуществляется за счет перекачки насосом воды с поверхности вниз при гидравлическом способе или прокачке воздуха через диффузор на дне водоема при пневматическом способе [3]. Оба исполнения являются дорогостоящим и мало применим на практике для водоемов с внушительными морфометрическими показателями.

Механический сбор водорослей также может быть применим как средство защиты от эвтрофирования. Собирать биомассу водорослей необходимо вначале процесса цветения. Такой способ не находит широкого применения вследствие внушительных затрат на оборудование и рабочую силу. С другой стороны водоросли имеют коммерческую ценность, но также следует учитывать, что при выемке донных отложений могут пострадать бентические организмы.

Под биологическими методами, позволяющими исключить эвтрофикацию, понимают контролирование популяции фитопланктона естественными способами, например, путем улучшения условий для хищных рыб, что воссоздаст трофические взаимодействия способные свести к минимуму цветение токсичных водорослей. Влияние такого вмешательства в экосистему водоёма позволит сократить количество планктоноядных рыб, что снизит хищничество зоопланктона, а это в свою очередь вынудит последних потреблять больше представителей сине-зелёных водорослей, тем самым уменьшая минимуму цветение токсичных водорослей. Реализация данной схемы возможно лишь в экосистемах с установившейся популяцией макрофитов и только в качестве меры предупреждающей эвтрофирование водоёма.

Также предупреждать цветение токсичных водорослей может использование растений-макрофитов [4]. Применение этого биологического метода позволит улучшить качество поверхностных вод путём адсорбции питательных веществ разветвленной корневой системой водных растений. Макрофиты также будут препятствовать ресуспензии осадка.

В настоящее время активно разрабатываются методы предупреждения эвтрофикации сочетающие в себе техническую простоту конструкции и биологические принципы очистки, поскольку именно такое сочетание минимизирует воздействие на окружающую среду.

Одной из таких технологий является интегрированное экологическое ложе – это система, позволяющая использовать растения для регулирования процесса эвтрофикации. Конструкция представляет собой плавающую раму, в которой могут быть размещены как водные, так и наземные растения, произрастающие гидропонным способом. Растения сорбируют питательные вещества из водной среды, а подводная часть содержит бактерии, расщепляющие органические вещества. В дальнейшем выросшую биомассу можно легко собрать и утилизировать. В такую систему могут быть внедрены двустворчатые моллюски, что также позволит снизить количество поступающих биогенных элементов в водоём.

Существуют и другие инженерно-экологические решения, содержащие в себе физические и биологические методы управления эвтрофикацией. В частности, в водоёме строится ограждение, растения-макрофиты размещаются внутри на плавающих конструкциях. На возве-

денной конструкции устанавливаются биомиметические сети, способные частично сорбировать взвешенные вещества и водоросли [5].

На основании анализа литературных источников наиболее перспективным и универсальным направлением в очистке вод хозяйственно-бытового назначения от биогенных элементов является внедрение водопроводящих гидротехнических сооружений с установленными на них биоплато для поглощения водной растительностью таких минеральных компонентов, как фосфор и азот, способствующих заболачиванию и цветению токсичных водорослей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hudnell H.K.* The state of U.S. freshwater harmful algal blooms assessments, policy and legislation // *Toxicon*. 2010. № 55 (5). P. 1024-1034.
2. *Wang Z.* An integrated method for removal of harmful cyanobacterial blooms in eutrophic lakes / *Z. Wang, D. Li, H. Qin, Y. Li* // *Environ Pollut*. 2012. №160 (1). P. 34-41.
3. Effects of artificial hypolimnetic oxygenation in a shallow lake. Part 1: phenomenological description and management / *M. Toffolon, M. Ragazzi, M. Righetti* [et al.] // *J Environ Manage*. 2013. № 114. P. 520-529.
4. Restoring macrophyte diversity in shallow temperate lakes: biotic versus abiotic constraints / *E.S. Bakker, J.M. Sarneel, R.D. Gulati* [et al.] // *Hydrobiologia*. 2013. № 710. P. 23–37.
5. Effect of Ecological Engineering on the Nutrient Content of Surface Sediments in Lake Taihu, China / *Y. Gao, G. Zhu, B. Qin, Y. Pang, Z. Gong, Y. Zhang* // *Ecological Engineering*. 2009. № 35. P. 1624-1630.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ОПАСНОСТИ «ЗЕЛЕНОГО МАСЛА» ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

А.В. Петровых¹, Е.Н. Березина², С.Д. Тимрот¹

Научный руководитель – **С.Д. Тимрот**, канд. техн. наук, доцент

¹Ярославский государственный технический университет

²ГБУ ЯО «Центр охраны окружающей среды»

Объектом исследования является «зеленое масло» - фракция пиролиза нефтепродуктов, которая раньше применялась для производства сажи. В результате деятельности Ярославского сажевого завода, находящегося в 100 м от реки Волга, грунт и грунтовые воды оказались загрязненными нефтепродуктами. Для оценки экологического вреда был определен класс опасности «зеленого масла» экспериментальным методом на двух тест-объектах

Ключевые слова: «зеленое масло», класс опасности, паспортизация, биотестирование, тест-объекты

DETERMINATION OF THE HAZARD CLASS "GREEN OIL" BY AN EXPERIMENTAL METHOD

A.V. Petrov¹, E.N. Berezina², S.D. Timrot¹

Scientific Supervisor – **S.D. Timrot**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

¹Yaroslavl State Technical University

²GBU YAO "Environmental Protection Center"

The object of the study is "green oil"-a fraction of pyrolysis of petroleum products, which was previously used for the production of soot. As a result of the activities of the Yaroslavl soot plant, located 100 m from the Volga River, the soil and groundwater were contaminated with petroleum products. To assess environmental harm, the hazard class of "green oil" was determined by an experimental method on two test objects.

Keywords: "green oil", hazard class, certification, biotesting, test objects

В 1933 году был введен в эксплуатацию Ярославский сажевый завод, который располагался в 100 м от уреза воды р. Волги.

Исходным сырьём для производства технического углерода (сажи) служила продукция, выпускаемая нефтеперерабатывающими заводами:

«зелёное масло» (фракция пиролиза нефтепродуктов), которая в основном доставлялась нефтеналивными судами по Волге. Сырьё на сажевом заводе хранилось в открытых земляных котлованах, не имеющих достаточной герметичности. В результате многолетних утечек, которые происходили с 1935 года, грунт и грунтовые воды на площадке оказались насыщены нефтепродуктами.

Геологические изыскания, проведенные в начале 1970-х годов, показали что содержание в грунтах и грунтовых водах нефтепродуктов составляло свыше 6 тыс. м³ и в Волгу за сутки поступало около 44 м³ дренажных вод с содержанием 1,3% нефтепродуктов.

В 1978 г. построена и введена в действие дренажная лотковая система, расположенная по периметру площадки. Эта система до настоящего времени является единственной защитой реки от загрязнения «зелёным маслом». Сегодня дренажная система функционирует как сборник-накопитель нефтепродуктов.

Согласно данным исследований, проведённых в 2000 году предприятием «Гидроспецгеология», суммарное содержание нефтепродуктов в грунте превышает 16,5 тыс. тонн, общее количество загрязненного грунта составляет около 6,6 млн тонн.

В 2022 году, на основании требований Волжской межрегиональной природоохранной прокуратуры, Росприроднадзором были проведены осмотры земельных участков, расположенных в районе бывшего Сажевого завода. На основании исследований ФГБУ «ЦЛАТИ по ЦФО» и ГБУ ЯО «Центр охраны окружающей среды» был сделан вывод о значительном загрязнении нефтепродуктами осмотренных земельных участков. Степень загрязнения составляет от 26 до 611 раз выше фоновых значений.

Учитывая указанные обстоятельства, 22 ноября 2022 г. постановлением мэрии города Ярославля № 1032 введён режим чрезвычайной ситуации муниципального характера.

Согласно [1] все отходы должны относиться к определенному классу опасности и включаться в Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО). На основании анализа ФККО установлено, что отход «зелёного масла» не может быть отнесен ни к одному из отходов, представленных в каталоге.

В связи с изложенным, отход «зеленого масла» нуждается в паспортизации и включению в ФККО как новый опасный отход.

Первоначально, для отхода, не включенного в ФККО, необходимо подтвердить отнесение его к конкретному классу опасности.

Отнесение отходов к конкретному классу опасности осуществляется с применением Критериев [2].

В соответствии с Критериями класс опасности вида отхода, не включенного в ФККО, определяется его химическим и компонентным

составом. Химический и (или) компонентный состав отходов устанавливается на основании сведений, содержащихся в технологических регламентах, технических условиях, стандартах, проектной документации. В случае отсутствия сведений о химическом и (или) компонентном составе отходов в указанной документации, химический и (или) компонентный состав вида отходов устанавливается по результатам количественных химических анализов.

В нашем случае сведения о химическом и (или) компонентном составе отхода отсутствуют, в связи с чем невозможно определить степень опасности отхода для окружающей среды. Исходя из этого, для установления класса опасности отхода, был применен экспериментальный метод определения на тест-объектах.

В качестве образцов исследования взяты пробы жидких отходов из колодцев № 3 и № 8 дренажной системы бывшего Сажевого завода. Отбор проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осуществлялся в соответствии с методикой [3].

Методы применялись на следующих тест-объектах: синхронизированная культура зеленых протококковых водорослей, *Scenedesmusquadricauda* (Turp.) по методике[4] и синхронизированная культура цериодафний, вид *Ceriodaphni affinis Lilljeborg* по методике[5].

Тест-объекты имеют свидетельства, подтверждающие допустимость их использования для эксперимента. Были приготовлены водные вытяжки проб отходов в разных разбавлениях, в качестве жидкости использовалась дистиллированная вода с рН 7,2 ед.

Таблица 1. Результаты биотестирования на ракообразных

Степень разбавления образцов	Количество цериодафнии н а начало эксперимента, шт./шт. (в двух повторностях)	Количество цериодафнии через 24 часа эксперимента, шт./шт. (в двух повторностях)	Количество цериодафнии через 48 часа эксперимента, шт./шт. (в двух повторностях)
Проба колодец № 3			
Без разбавления	10 / 10	0 / 0	0 / 0
Разбавленный в 100 раз	10 / 10	0 / 0	0 / 0
Разбавленный в 1000 раз	10 / 10	0 / 0	0 / 0
Разбавленный в 10000 раз	10 / 10	0 / 0	0 / 0
Разбавленный в 50000 раз	10 / 10	10 / 10	10 / 9
Проба колодец № 8			
Без разбавления	10 / 10	0 / 0	0 / 0
Разбавленный в 100 раз	10 / 10	0 / 0	0 / 0
Разбавленный в 1000 раз	10 / 10	0 / 0	0 / 0
Разбавленный в 10000 раз	10 / 10	0 / 0	0 / 0
Разбавленный в 50000 раз	10 / 10	10 / 9	9 / 9

Гибель более 50% тест-объектов за 48 часов экспозиции свидетельствует об острой токсичности в исследуемой пробе. Устанавливается безвредная кратность разбавления водных вытяжек, вызывающая гибель не более чем 10% церидафний за 48 часовую экспозицию.

Таким образом, исследованные образцы водных вытяжек отходов из колодцев № 3 и № 8 обладают острой токсичностью. Безвредная кратность разбавления - 50000 раз.

Таблица 2. Результаты биотестирования на водорослях

Степень разбавления образцов	Численность водорослей на начало эксперимента, тыс.клеток/см ³ / тыс.клеток/см ³ (в двух повторностях)	Численность водорослей через 72 часа эксперимента, тыс.клеток/см ³ / тыс.клеток/см ³ (в двух повторностях)	Относительное изменение численности клеток водорослей по сравнению с контролем
Проба № 363/3			
Разбавленный в 100 раз	29 / 29	0 / 0	снижение на 100 %
Разбавленный в 1000 раз	29 / 29	0 / 0	снижение на 100 %
Разбавленный в 10000 раз	29 / 29	140 / 145	снижение на 51,5 %
Разбавленный в 50000 раз	29 / 29	285 / 280	снижение на 4,24 %
Проба № 364/3			
Разбавленный в 100 раз	29 / 29	0 / 0	снижение на 100 %
Разбавленный в 1000 раз	29 / 29	0 / 0	снижение на 100 %
Разбавленный в 10000 раз	29 / 29	120 / 120	снижение на 59,3 %
Разбавленный в 50000 раз	29 / 29	275 / 265	снижение на 8,47 %
Контрольный образец			
-	29 / 29	290 / 300	-

Снижение численности клеток водорослей на 50% и более по сравнению с контролем за 72 часа экспозиции свидетельствует об острой токсичности в исследуемой пробе. Устанавливается безвредная кратность разбавления водных вытяжек, вызывающая не более чем 20%-ное снижение численности клеток водорослей за 72 часовую экспозицию.

Таким образом, исследованные образцы водных вытяжек отходов из колодцев № 3 и № 8 обладают острой токсичностью. Безвредная кратность разбавления - 50000 раз.

Эксперимент показал, что водная вытяжка исследованных образцов отходов, отобранных из колодцев № 3 и № 8 дренажной системы бывшего Сажевого завода, согласно применяемым методикам определения токсичности, обладает острой токсичностью.

Класс опасности отхода, по результатам кратности разведения водной вытяжки из отхода, определяется в соответствии с Приложением

№ 5 к Критериям. Так, по результатам исследований, безвредная кратность разбавления составила 50000 раз. Согласно указанному Приложению № 5 при кратности (Кр) разведения водной вытяжки из отхода более 10000 раз ($Kp > 10000$), класс опасности соответствует – I для окружающей среды.

Таким образом, в результате анализа на двух тест-объектах «зеленое масло» может быть отнесено к I классу опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 24.06.98 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». URL: [http:// www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)
2. Приказ Минприроды России от 04.12.2014 N 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I - V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду». URL: <http://www.consultant.ru>
3. ПНД Ф 12.1:2.2:2.3:3.2-03. Методические рекомендации. Отбор проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, шламов промышленных сточных вод, отходов производства и потребления. М., 2014
4. ФР.1.39.2007.03223. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. М.: АКВАРОС, 2007.
5. ФР.1.39.2007.03221. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости цериодафний. М.: АКВАРОС, 2007.

УДК 628.3

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Е.А. Лысенко, Е.Э. Степанов, И.А. Кононов, С.Д. Тимрот

Научный руководитель – **С.Д. Тимрот**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Объектом исследования является загрязненная нефтепродуктами геологическая среда на производственной площадке пункта технического обслуживания вагонов на станции Ветласян. Проведена оценка загрязнения классическими методами инженерных изысканий (бурение скважин, отбор проб и лабораторные исследования), а также обследование грунтов методом электротомографии. Получена удовлетворительная сходимость результатов исследования загрязнений принципиально различными методами.

Ключевые слова: геологическая среда, нефтепродукты, скважина, электроразведка, электротомография, удельное сопротивление, геологический разрез

APPLICATION OF ELECTRICAL EXPLORATION METHODS IN RESEARCHING POLLUTION OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT AT RAILWAY TRANSPORT FACILITIES

E.A. Lysenko, E.E. Stepanov, I.A. Kononov, S.D. Timrot

Scientific Supervisor – **S.D. Timrot**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The object of research is the geological environment contaminated with petroleum products at the production site of the wagon maintenance point at the railway station Vetlasyan. The pollution was assessed by classical methods of engineering surveys (well drilling, sampling and laboratory studies), as well as soil examination by electrotomography. Satisfactory convergence of the results of the pollution study by fundamentally different methods has been obtained.

Keywords: geological environment, petroleum products, well, electrical exploration, electrotomography, specific resistivity, geological profile

Техногенное загрязнение нефтепродуктами, накапливаемое в геологической среде на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта вследствие длительного негативного техногенного воздействия

отрасли (интенсивное развитие в отдельные периоды, несовершенство технологических процессов, аварийные ситуации и др.), является источником повышенной экологической опасности для литосферного пространства экосистем, биоты и человека.

При определенных геологических и геогидрологических условиях в толще разреза могут образовываться линзы техногенных гравитационно-подвижных нефтепродуктов, способные наносить ущерб подземным водам и водным объектам.

Общепринятым способом получения геоэкологической информации о состоянии окружающей среды (фактической степени загрязнения геологической среды) на объектах железнодорожного транспорта является бурение скважин (иногда проходка горных выработок) с отбором проб почвы (грунта) и воды, и последующим полевым и лабораторным исследованием полученных проб компонентов природной среды. На основании результатов анализов и испытаний определяется:

- строение геологического разреза и его особенности, способствующие повышенной миграции углеводородов;
- локализация углеводородов в плане и разрезе;
- пространственные связи зон распространения загрязнения с источником загрязнения (пространственная модель загрязнения).

Зачастую на производственных объектах инфраструктуры затруднительно получить необходимое количество данных скважных наблюдений и исследований в виду наличия зданий и сооружений, железнодорожных путей, контактной сети и ее опор, подземных инженерных сетей (кабельных трасс и трубопроводов) и др. Кроме того, сгущение сети скважин и увеличение частоты отбора проб ведет к пропорциональному росту стоимости обследовательских работ, и может стать экономически нецелесообразным.

В рамках проведения инженерных изысканий на объектах может быть использован технологический комплекс геофизических и геологических методов [1], позволяющий в сложных условиях производственных площадок локомотивных и вагонных депо, баз топлива и других объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта получить достоверную информацию о строении и условиях формирования очага загрязнения.

В качестве примера приведен комплекс методов получения геоэкологической информации, реализованный на производственной площадке пункта технического обслуживания вагонов Ветласян (г.Ухта, республика Коми) при поиске источника загрязнения геологической среды нефтепродуктами и оконтуривания зоны этого загрязнения.

Площадь загрязненного участка по первичным оценкам составляла 814,67 м².

Обследование объекта проводилось в 2019-2020 гг. в целях подготовки проекта ликвидации загрязнения и его источника, в том числе про-

ведения демонтажа нефтеловушки и бетонного лотка, технической и биологической очистки.

По лабораторным данным максимальное содержание нефтепродуктов достигает 42360,5 мг/кг, что превышает в 42,36 раза допустимую концентрацию.

Согласно СанПиН 2.1.7.1287-03 почвы территории изысканий относятся к различным категориям загрязнения: от чистой категории загрязнения до опасной.

Дополнительно уровень загрязнения нефтепродуктами был оценен согласно действующим Методическим рекомендациям по выявлению деградированных и загрязненных земель, утвержденным 15.02.1995 г., согласно которым почвогрунты участка изысканий по содержанию нефтепродуктов соответствуют очень высокому уровню загрязнения. В интервале глубин 1,5-2,0 м уровень загрязнения падает до допустимого.

В целях уточнения границ загрязнения на объекте вблизи зданий и сооружений пункта технического обслуживания вагонов было проведено обследование аппаратурно-программным комплексом электроразведки «Омега-48» (с применением электроразведочных кос).

Станция «Омега-48» реализует метод электротомографии (электротомографии) путем возбуждения электрического тока (напряжения) в питающих линиях [2], коммутации питающих и приемных электродов в косе электродов и измерения переходных сопротивлений электродов (после их заземления). В процессе работы станции измеряются и регистрируются мгновенные значения разницы электрических потенциалов в приемных линиях электроразведочных установок.

Применение электроразведочных методов для решения инженерно-геологических и геоэкологических задач основано на различии горных пород и грунтов по удельному электрическому сопротивлению.

Электротомография основана на многократном использовании в качестве питающих и измерительных электродов одних и тех же фиксированных на профиле заземлений. Это приводит к существенному увеличению плотности измерений по сравнению с обычным методом вертикальных электрических зондирований.

Станция «Омега-48» поочередно коммутирует и опрашивает различные комбинации электродов. Таким образом, в результате измерений получают информацию о распределении кажущегося удельного электрического сопротивления по разрезу.

Технология электротомографии может применяться не только для расчленения горизонтально-слоистого разреза, но и для изучения любых геологических сред двумерной или трехмерной структуры.

Решение обратной задачи (инверсия данных) проводится с помощью программы «Омега-48М». Выходными данными являются разрезы удельного электрического сопротивления грунтов.

Сопоставляя данные электротомографии с априорной геологической информацией, полученной в результате инженерных изысканий 2019 года, проводят геологическую интерпретацию разрезов сопротивления и строят геоэлектрические разрезы.

Перед геофизическим обследованием была произведена геодезическая разбивка и привязка сети наблюдений, нанесены профили и линии расстановки электродов (кос) с указанием начала и конца.

Геоэлектрические разрезы (профили), снятые станцией при проведении обследования изображены на рис. 1.

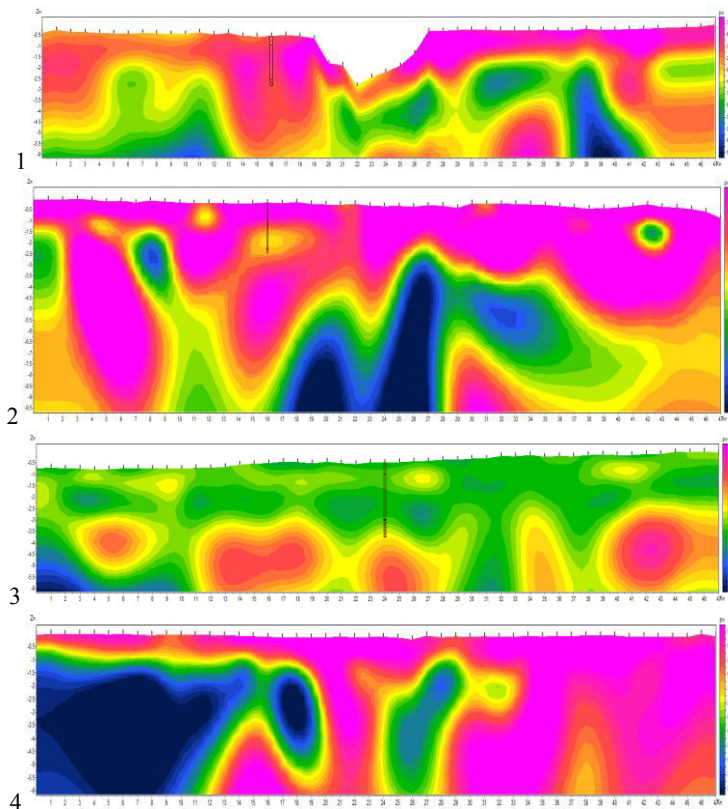


Рис. 1. Геоэлектрические разрезы

В геоэлектрическом разрезе областям, загрязненным нефтепродуктами, соответствуют зоны пониженных электросопротивлений.

То обстоятельство, что нефтепродукты, являясь в чистом виде изоляторами, проявляются в виде низкоомных аномалий в наблюдаемых полях удельного сопротивления, имеет следующие объяснения [3].

Во-первых, в большинстве случаев, загрязняющее среду вещество, является не чистым нефтепродуктом, а его водной эмульсией, которая на фоне сухих, относительно высокоомных пород обладает пониженным электросопротивлением.

Во-вторых, активные процессы деградации и трансформации нефтепродуктов под действием биологических и физико-химических факторов, протекающие в естественных условиях, приводят к образованию и накоплению в зоне аэрации геологического разреза продуктов разложения, которые также снижают электросопротивление среды.

Полученные в результате исследования низкоомные аномалии в зоне загрязнения нефтепродуктами, а также прогнозируемое снижение удельного сопротивления пород в направлении увеличения концентрации нефтепродуктов в грунтах, подтверждают первую версию и, в частности, позволяют интерпретировать значения удельного сопротивления породы в зоны зондирования для количественной оценки загрязнения.

На основании полученных геоэлектрических разрезов и сопоставлении их с данными инженерно-геологических изысканий были определены дополнительные объемы загрязненного грунта, уточнены границы загрязнения.

Выводы. Геофизические методы исследования геологической среды на производственных площадках железнодорожных предприятий имеют широкие перспективы применения в рамках экологического мониторинга и оценки загрязнения. Их применение позволяет:

- сократить трудозатраты на проходку горных выработок, отбор проб и лабораторные исследования (эти работы проводятся для комплексирования в значительно меньших объемах);
- сократить сроки выполнения инженерных изысканий;
- определить параметры загрязнения (очаги, площади, глубины контуры и др.) с высокой точностью;
- представить результаты обследования в различных формах (трехмерные модели, разрезы и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богословский В.А.* Экологическая геофизика: Учеб. пособие для геофиз., геол. и геоэкол. специальностей / В.А. Богословский, А.Д. Жигалин, В.К. Хмелевской. М.: Изд-во МГУ, 2000. 253 с.
2. Геофизические методы исследования скважин. Справочник геофизика / под ред. В.М. Запорожца. М.: Недра, 1983. С. 591.
3. *Шакуро С.В.* Применение электроразведочных методов при изучении бензиновых (керосиновых) линз на объектах хранения и переработки нефтепродуктов // Записки Горного института. 2005. Т. 162. С. 59-64.

СНИЖЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ОКСИДАМИ АЗОТА ПРИ СЖИГАНИИ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА

Д.Д. Коженова, Е.А. Фролова

Научный руководитель – **Е.А. Фролова** канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрены вопросы уменьшения выбросов оксидов азота и углекислого газа в процессе работы котлов на ТЭС. Приведены различные варианты оформления процесса горения топлива и оборудования. Дается химизм трехступенчатого сжигания топлива. Представлены схема котла и направления воздушных и газовых потоков в просе его работы.

Ключевые слова: газообразное топливо, трехступенчатое сжигание, схема котла

D.D. Kozhenova, E.A. Frolova

Scientific Supervisor – **E.A. Frolova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The issues of reducing emissions of nitrogen oxides and carbon dioxide during the operation of boilers at thermal power plants are considered. Various options for the design of the gorenje process and equipment are presented. The chemistry of three-stage fuel combustion is presented. The scheme of the boiler and the directions of air and gas flows in the process of its operation are presented.

Keywords: gaseous fuel, three-stage combustion, boiler circuit

В современном мире предъявляются серьёзные требования к экологическим и технико-экономическим показателям котельных установок. В связи с этим, особую важность приобретает ответственный подход к разработке систем сжигания и топочно-горелочных устройств. От организации топочного процесса во многом зависит степень выгорания топлива, уровень концентрации вредных выбросов дымовых газов, КПД котельной установки, размер экологических платежей, а также надежность работы котлов. В качестве объекта исследования выбран паровой котел марки БКЗ 160-100 ГМ.

При сжигании газообразного топлива образуются оксиды азота, оксиды углерода. Снижение выбросов оксидов азота можно добиться двумя основными путями: обезвреживание отходящих газов и технологическое подавление их образования. Второй путь наиболее целесообразный. Современный способ - трехступенчатое сжигание топлива. Этот метод обеспечивает восстановление оксидов азота, образовавшихся в факеле, до молекулярного азота.

Трехступенчатое сжигание является одним из наиболее эффективных технологических методов подавления оксидов азота, образующихся при сжигании в топке энергетического котла органического топлива. В отличие от других известных технологических методов воздействия на выход оксидов азота, носящих превентивный характер и предотвращающих окисление азота в высокотемпературной зоне, трехступенчатое сжигание обеспечивает восстановление оксидов азота, образовавшихся в факеле, до молекулярного азота. Этот процесс реализуется путем формирования в топочной камере трех последовательно расположенных рабочих зон (рис. 1):

- основной факел, в котором при расчетном избытке воздуха сжигается основная масса топлива (около 80%), время пребывания в восстановительной зоне не менее 0,4–0,5 с;

- восстановительная зона, в которой при пониженном избытке воздуха ($\alpha \approx 0,9$) обеспечивается образование восстановительной среды – продукты неполного горения, включающие промежуточные высокоактивные неустойчивые продукты горения – обрывки реакционных цепей, углеводородные радикалы, а также стабильные продукты неполного горения – водород, оксид углерода;

- зона дожигания, в которой обеспечивается выгорание продуктов неполного горения, поступающих из восстановительной зоны.

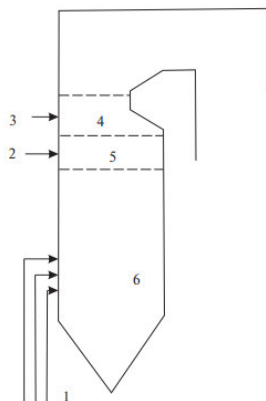


Рис. 1. Схема трехступенчатого сжигания:

- 1 – основное топливо и первичный воздух;
- 2 – топливо для получения восстановительной среды;
- 3 – третичный воздух;
- 4 – зона дожигания;
- 5 – восстановительная зона;
- 6 – основная зона горения

Химические превращения соединений азота топлива и воздуха в процессе трехступенчатого сжигания показаны на рис. 2. Химический процесс конверсии NO_x , образовавшегося в основной зоне горения, в молекулярный азот протекает через серию реакций с топливными радикалами в восстановительной зоне, обогащенной топливом. Углеводородные радикалы, которые образуются в восстановительной зоне, реагируют с частью поступающих в эту зону оксидов азота, образуя ряд промежуточных радикалов – цианид водорода HCN , изоциановую кислоту HNCO и другие. Взаимодействуя с аминами и оксидом углерода, эти радикалы, в конечном счете, восстанавливают амины до молекулярного азота.

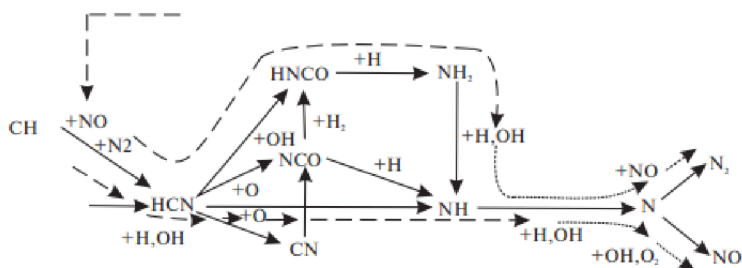


Рис. 2. Схема химических превращений при сжигании азотсодержащего топлива и при наличии зоны с восстановительной средой:

..... ➔ - окислительная среда (образование NO);
 - - - ➔ - восстановительная среда (деструкция NO).

Мероприятия по подавлению оксидов азота должны обеспечивать снижение температурного уровня топочного процесса, сокращение времени выгорания и пребывания топливоздушная смеси и продуктов сжигания в зоне горения, выравнивание температурного поля в сечении топочной камеры, снижение тепло напряженности в горелочном поясе.

Наилучший эффект достигается комбинацией различных технологических методов по снижению выбросов оксидов азота.

Примером может служить блок мероприятий на котле типа БКЗ 160-100ГМ, когда одновременно внедряется сразу комплекс решений для реализации воздухоохраных мероприятий:

- ступенчатое сжигание;
- поддержание оптимального скоростного режима работы малотоксичных горелок (замедленное смесеобразование, снижение концентрации кислорода в корне факела);
- изменение избытка воздуха в горелках;
- понижение температуры факела;
- создание зоны с восстановительной средой.

Сочетание мероприятий экологического и технологического характера совмещается с решением с рядом технологических задач: повышением устойчивости горения, надежности и стабильности работы оборудования, улучшением технико-экономических показателей.

Принципиальная схема работы однобарабанного котла БКЗ-160-100ГМ. Котел состоит из топki, нескольких горелочных устройств, верхнего барабана с выносными циклонными сепараторами, нескольких пакетов пароперегревателей, экономайзера, питательного тракта, воздухоподогревателя, дымоходов, вентилятора, дымососа и системы топливоподачи.

В котёл с помощью питательного насоса подводится питательная вода под большим давлением, а топливо и атмосферный воздух для горения. В топке котла идёт процесс горения – химическая энергия топлива превращается в тепловую и лучистую энергию. Питательная вода протекает по трубной системе, расположенной внутри котла. Сгорающее топливо является мощным источником теплоты, передающейся питательной воде, которая нагревается до температуры кипения и испаряется. Получаемый пар в этом же котле перегревается сверх температуры кипения, примерно до 540 °С и по одному или нескольким трубопроводам подаётся в паровую турбину.

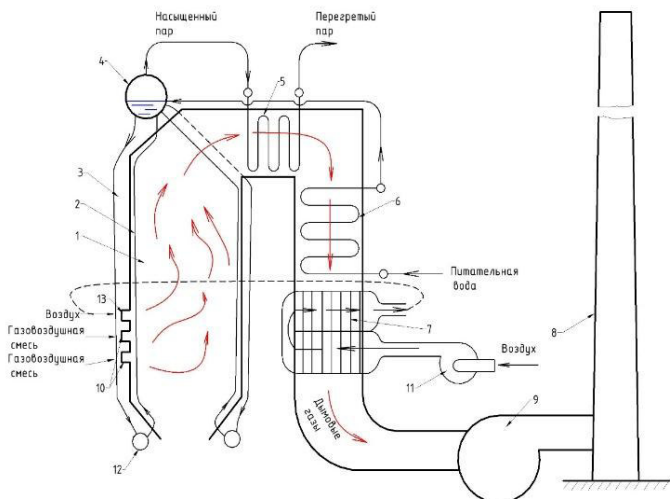


Рис. 3. Принципиальная схема котла БКЗ-160-100ГМ:

- 1 – топка; 2 – экранные трубы; 3 – опускные трубы; 4 – барабан;
 5 – пароперегреватель; 6 – водяной экономайзер; 7 – трубчатый воздухоподогреватель (ТВП); 8 – выбросная труба; 9 – дымосос; 10 – горелки; 11 – вентилятор;
 12 – коллектор; 13 – сопло

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В КОНТЕКСТЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ ГЛОБАЛЬНЫХ РЕГИОНОВ МИРА

В.А. Шилов, А.А. Игнатъев

Научный руководитель – **А.А. Игнатъев**, доцент

Ярославский государственный технический университет

Целью исследования является анализ текущего состояния в отношении накопления твердых бытовых отходов. Приведены различия в образовании отходов по глобальным регионам мира. Сделан вывод о растущей геоэкологической проблеме урбанизированных территорий.

***Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, геоэкология, регионы мира*

DIFFERENTIATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE IN THE CONTEXT OF THE GEO-ENVIRONMENTAL PROBLEM OF GLOBAL REGIONS OF THE WORLD

V.A. Shilov, A.A. Ignatyev

Scientific Supervisor – **A.A. Ignatyev**, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The purpose of the study is to analyze the current state of the accumulation of solid waste. The differences in the formation of waste in the global regions of the world are given. It is concluded that the geo-ecological problem of urbanized areas is growing.

***Keywords:** municipal solid waste, geoecology, regions of the world*

Стремительная урбанизация территорий привела к нарушению баланса естественных природных экосистем. В настоящее время концентрация негативных воздействий на геоэкологическую среду в крупных городах кратно превышает нормативные значения. Причиной этому является активное расширение хозяйственной деятельности человека с увеличением антропогенного воздействия на окружающую среду.

Остро стоит проблема значительного накопления масс твердых бытовых отходов (ТБО), по причине того, что альтернативные газообразные и жидкие отходы после попадания в окружающую среду легко под-

даются диффузии в ней. Более того, из-за стремительного роста накопления отходов и недостаточного вторичного использования, а также переработки на многих урбанизированных территориях есть острая потребность в решении проблемы. В настоящее время утилизация отходов является одной из наиболее актуальных задач. Для отражения реального состояния геоэкологической проблемы глобальных регионов мира в данной статье выполнен анализ текущего состояния в отношении ТБО. Методологической базой исследования послужили научные работы российских и зарубежных исследователей [1-5].

В работах [2, 3] представлены различия в объемах образования отходов по глобальным регионам мира: Ближний Восток и Северная Африка, Африка к югу от Сахары, Латинская Америка и Карибский регион, Северная Америка, Южная Азия, Восточная Азия и Тихоокеанский регион, (рис. 1). Причем образование отходов в Африке существенно ниже, чем в развитых странах Европы. Отсюда мы можем утверждать, что количество ТБО увеличивается пропорционально развитию мирового общества и его мере стремления к всеобъемлющей урбанизации.

Однако данные последних исследований [1, 2, 5] позволяют делать новые выводы относительно темпов образования ТБО, которые уже значительно быстрее, чем темпы урбанизации.



Рис.1. Различия в образовании отходов по глобальным регионам мира

По мере роста населения и расширения хозяйственно-экономической деятельности различные страны мира будут продолжать генерировать большое количество отходов. Всего в мире на 2018 год согласно данным Всемирного банка, ежегодно образуется 2,01 млрд тонн не утилизируемых отходов, при численности населения 7,7 млрд человек, при этом утилизация 33% из них считается экологически небезопасной. На основе базы данных Всемирного банка ожидается, что к 2050 году объем отходов в мире вырастет до 3,40 млрд тонн не утилизируемых отходов, то есть практически до 70% от общего числа (рис. 2). Опираясь на

представленные статистические данные, были сделаны прогнозные расчеты образования отходов на одного человека в день, которые оказались равны от 0,11 до 4,54 кг, средний показатель составляет 0,74 кг [5]. Безусловно, такие изменения свидетельствуют о глобальном нарастании остроты проблемы роста объемов отходов, и необходимости принятия экстренных мер в области управления отходами на урбанизированных территориях для улучшения глобального уровня геоэкологической обстановки.

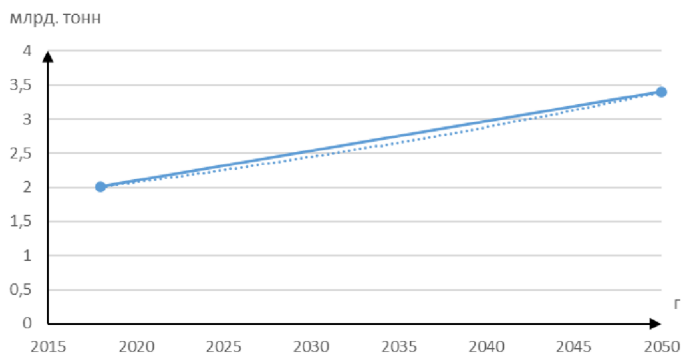


Рис. 2. Рост объемов накопления отходов в мире

Особое внимание российские и зарубежные ученые уделяют сравнению концепций обращения с твердыми отходами в контексте глобальных мировых регионов – США, Европе и Азии [2, 3, 5]. Главными моделями обращения по современным представлениям в этой области являются вторичное использования и рециклинг отходов с длительными сроками биоразложения [1, 4].

Среди глобальных мировых регионов США являются крупнейшим производителем отходов на душу населения в мире и производят 12% (262 млн тонн) глобальных твердых бытовых отходов (рис. 3, а). Аналогичная ситуация представлена и в странах Европы (рис. 3, б). Сложная ситуация наблюдается в Азиатском регионе, где на долю Китая и Индии производится 27% глобальных муниципальных отходов (рис. 3, в). В мировой картине наибольший процент образования показывают пищевые отходы – 44%, биоразложение которых происходит в окружающей среде за короткие сроки, а переработка требует относительно малых мощностей и ресурсов (рис. 3, г). Однако, около 30% от числа накопленных отходов составляет бумага, картон, пластик и резина, естественное разложение которых в природе может протекать несколько сотен лет, вследст-

вие чего на урбанизированных территориях нарушается геоэкологическая устойчивость.

а



б



в



г



Рис. 3. Процентный состав ТБО:

а – США; *б* – страны Европы; *в* – страны Азии; *г* – мир в целом

В итоге, ТБО дифференцируются следующим образом: бумага и картон, стекло, металл, пластик, отходы растительного происхождения из жилых домов, учреждений и коммерческих источников, пищевые отходы, древесные отходы, резина и кожа, текстиль и др. Процентный состав, как и возможные варианты обращения с ними, могут варьироваться от региона к региону.

Анализируя ситуацию на глобальном уровне, можно сделать следующие выводы:

- анализ работ показал, что на настоящий момент нет единого понимания и наиболее разумного решения на предмет обращения с отходами, особенно в случае с отходами слабо подверженными биоразложению;
- для решения геоэкологической проблемы урбанизированных территорий необходимо пересматривать подходы вторичного использования и рециклинга накапливаемых отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление техногенными отходами: учеб. пособие / В.Н. Коротаев, Н.Н. Слюсарь, Я.А. Жилинская, Г.В. Ильиных, Т.Г. Филькин. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2016. 390 с.
2. *Karim M.A.* A comparative study of solid waste management in the United States, Europe and Asia / M.A. Karim, J.T. Wetterhan // *Ann Civil Environ Eng.*, 2020. P. 3-11.
3. *Przydatek G.* A comparative analysis of municipal waste management systems // *Polish J Environ Studies*, 2016. P. 2107-2012.
4. *Шилкина С.В.* Мировые тенденции управления отходами и анализ ситуации в России // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». №1, 2020. С. 1-17. URL: <https://resources.today/issue-1-2020.html?ysclid=lg68p6s8zm881315620>
5. *Kumari A.* Greenways for Solid Waste Management / A. Kumari, Aich A.R. Kumari S., Mohanty S. // *Handbook of Solid Waste Management*. Publisher: Springer, Singapore. 2021. 40 p.

ОЛИГОМЕРЫ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА КАК СРЕДСТВА, ТОРМОЗЯЩИЕ КОРРОЗИЮ

С.В. Жеглов, А.В. Павлов В.В. Макарьин

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

Ярославский государственный технический университет

Исследовалось влияние покрытия из олигомеров полиэтилентерефталата на коррозию стальных образцов в 5% растворе хлорида натрия. Показано, что образцы, покрытые опытным веществом значительно меньше подвержены коррозии, чем незащищенные образцы.

Ключевые слова: олигомеры, полиэтилентерефталат, глицерин, диэтиленгликоль, сталь, коррозия

POLYETHYLENETEREPTHALATE OLIGOMERS AS MEANS BRAKING CORROSION

S.V. Geglov, A.V. Pavlov, V.V. Makaryin

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

Yaroslavl State Technical University

Studied the effects of polyethylenerephthalate oligomer coating on corrosion of steel samples submerged in 5% sodium chloride solution. Study showed considerable reduction in corrosion of coated samples when compared to uncoated ones.

Keywords: oligomers, polyethylene terephthalate, glycerin, diethylene glycol, steel, corrosion

Переработка бутылок и другой тары из полиэтилентерефталата является очень актуальным направлением утилизации пластиковых отходов. Низкомолекулярные продукты переработки являются великолепной добавкой для повышения технологичности переработки синтетических бутадиеновых каучуков (СКД-СР) для изготовления "мягких" резин при шпрединовании и каландровании различных текстильных материалов [1]. Применение их в качестве олигомеров позволяет получать резиновые смеси с равномерным массово-молекулярным распределением, что благоприятно сказывается не только на технологичность резиновых смесей,

но и на их вулканизаты. Обладая низкой молекулярной массой, эти олигомеры легко растворяются при нагревании в глицерине и диэтиленгликоле. Эти составы могут свободно проникать в резьбовые контакты между стальными болтами и гайками, подверженные значительной электрохимической коррозии. При этом усилие затяжки резьбового контакта снижается, что, по-видимому, связано с изменением поверхностных явлений, наблюдаемых в зоне контакта болта с гайкой. Объяснение явления облегчения свинчивания стальных резьбовых соединений может быть интерпретировано результатами исследований коррозионных процессов стальной жести марки 20*0,5 по ГОСТ 3560-73 [2] в растворах 5% хлорида натрия (имитация морской воды) без обработки поверхности жести изучаемыми олигомерами и соответственной обработкой. Из данных мониторинга изучения коррозионных процессов, представленных в таблице 1, следует, что скорость коррозии образцов стальной жести с обработкой поверхности олигомерами в глицерине ниже по сравнению с контрольными образцами без обработки поверхности во всем временном интервале. Все образцы подвержены равномерной коррозии при питтинговом факторе, стремящемся к 1. Отмечено, что на контрольных образцах образуются гидратированные оксиды железа $Fe_2O_3 \cdot n H_2O$, которые легко удаляются с поверхности жести, а на опытных образцах образуется трудно удаляемая пленка, препятствующая образованию оранжевой ржавчины. Аналогичные закономерности наблюдаются при использовании олигомеров, растворенных в диэтиленгликоле, однако они проявляются более ярко. Нерастворимую в водном растворе 5% хлорида натрия липкую пленку на стальной жести перед определением массового показателя скорости коррозии приходилось удалять с помощью органического растворителя.

Результаты испытаний представлены в таблицах 1-4.

Таблица 1. Исследование скорости коррозии стали в 5% растворе хлорида натрия

Наименование показателей						
Опыт	Масса образца, г		Разность масс, г	Поверхность образца, см ²	Время испытания, сутки	Скорость коррозии,
	до испытания	после испытания				
1	1,5958	1,5543	0,0415	12,4	15	$19,8 \cdot 10^{-5}$
2	1,3775	1,3664	0,0111	12,4	25	$3,51 \cdot 10^{-5}$
3	1,4008	1,3954	0,0054	13,0	36	$1,14 \cdot 10^{-5}$

**Таблица 2. Исследование скорости коррозии стали
в 5% растворе хлорида натрия с защитой из олигомеров, растворенных
в глицерине**

Наименование показателей						
Опыт	Масса образца, г		Разность масс, г	Поверхность образца, см ²	Время ис- пытания, сутки	Скорость коррозии,
	до испы- тания	после ис- пытания				
1	1,4575	1,4488	0,0087	12,4	15	$2,50 \cdot 10^{-5}$
2	1,0609	1,0562	0,0037	9,6	25	$4,7 \cdot 10^{-5}$
3	1,4025	1,3827	0,0198	13,0	36	$1,54 \cdot 10^{-5}$

**Таблица 3. Исследование скорости коррозии стали
в 5% растворе хлорида натрия**

Наименование показателей						
Опыт	Масса образца, г		Разность масс, г	Поверхность образца, см ²	Время ис- пытания, сутки	Скорость корро- зии,
	до испы- тания	после ис- пытания				
1	1,5118	1,4984	0,0134	13,6	25	$3,94 \cdot 10^{-5}$
2	1,3665	1,3375	0,029	12,8	29	$7,81 \cdot 10^{-5}$
3	1,4330	1,4012	0,0318	13,2	33	$7,3 \cdot 10^{-5}$

Таблица 4. Исследование скорости коррозии стали в 5% растворе хлорида натрия с защитой с защитой из олигомеров, растворенных в диэтиленгликоле

Наименование показателей						
Опыт	Масса образца, г		Разность масс,	Поверхность образца,	Время испытания,	Скорость коррозии,
	до испытания	после испытания	г	см ²	сутки	
1	1,4813	1,4648	0,0265	13,6	25	$4,71 \cdot 10^{-5}$
2	1,0883	1,0745	0,0138	9,2	29	$4,54 \cdot 10^{-5}$
3	1,3665	1,3376	0,0037	12	33	$1,06 \cdot 10^{-5}$

Таким образом, предварительная обработка поверхности стальной жести олигомерами, полученными из полиэтилентерефталата, растворенных в глицерине и диэтиленгликоле, снижает скорость электрохимической коррозии и облегчает проникновение через гидратированные оксиды железа $Fe_2O_3 \cdot n H_2O$ органической фазы и способствует образованию из неё пленки на поверхности металла, что и способствует более легкому отвинчиванию заржавевших резьбовых соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов, В.И. Пути повышения эффективности получения растворного синтетического каучука в России / В.И. Аксенов, А.И. Рахматуллин // Производство и использование эластомеров. № 2, 2018, с. 3-12.
2. ГОСТ 3560-73. Лента стальная упаковочная. Технические условия.

СЕКЦИЯ «ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ»

УДК 535.14

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

А.Н. Дворецкая, А.Ю. Соколов

Научный руководитель – **А.Ю. Соколов**, канд. физ.-мат. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

В работе отражено поведение квантовых частиц – фотонов в процессе формирования интерференционной картины. Рассмотрен интерферометр Маха-Цендера. На его основе проведён мысленный эксперимент Элицура-Вайдмана, демонстрирующий противоречие стандартной логики и квантовой механики.

***Ключевые слова:** фотон, интерференционная картина, мысленный эксперимент*

LIGHT INTERFERENCE FROM THE POINT OF VIEW OF QUANTUM MECHANICS

A.N. Dvoretzkaya, A.Yu. Sokolov

Scientific Supervisor – **A.Yu. Sokolov**, Candidate of Physico-Mathematical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The work reflects the behavior of quantum particles - photons in the process of formation of an interference pattern. The Mach-Zehnder interferometer is considered. On its basis, a thought experiment by Elitzur-Vaidman was carried out, demonstrating the contradiction between standard logic and quantum mechanics.

***Keywords:** photon, interference pattern, thought experiment*

Природа света длительное время оставалась загадкой для человечества. И.Ньютон считал свет потоком частиц. Благодаря его авторитету научный мир соглашался с этим более 100 лет. Опыт с интерференцией света Т. Юнга (1803 г.) и объяснение дифракции света О. Френелем (1815 г.) убедительно доказали волновую природу света. Теория Мак-

светла (1861 г.) показала, что свет представляет собой электромагнитную волну, распространяющуюся в вакууме со скоростью $3 \cdot 10^8$ м/с. Гипотеза М.Планка (1901 г.) положила начало удивительной теории – «Квантовой механике», которая успешно развивается и в настоящее время. По этой теории свет представляет собой поток частиц, с легкой руки А. Эйнштейна названных фотонами, которым присущи волновые свойства. Так, например, в формулах для энергии и импульса фотона присутствуют характеристики, используемые для описания волн – частота и длина волны.

$$E = h\nu, \quad p = h/\lambda.$$

Эта двойственная природа света, как, впрочем, и всей материи, называется корпускулярно-волновым дуализмом. Для описания поведения квантовых частиц, в том числе и фотонов, используется волновая функция $\Psi(x, y, z, t)$ - комплексная функция координат и времени. Ее физический смысл состоит в том, что квадрат модуля волновой функции дает плотность вероятности обнаружить частицу в данной области пространства:

$$\Psi\Psi^* = \frac{dP}{dV}.$$

Таким образом, квантовая механика утверждает, что мы не можем заранее знать, в какой области пространства окажется частица, но можем посчитать вероятность такого события. И это не ограничение квантовой механики, а ограничение самой природы. Так устроен мир.

Когда мы говорим об интерференции света, то рассматриваем, как правило, две когерентные волны, при наложении которых друг на друга и происходит устойчивое во времени перераспределение интенсивности света в пространстве, т.е. образование интерференционной картины.

В классическом опыте Юнга используются две щели, через которые проходит свет от точечного источника, и, попадая на достаточно удаленный экран, образует интерференционную картину в виде полос. Уменьшая интенсивность света, мы можем добиться такой ситуации, когда фотоны будут проходить всю установку поодиночке. При этом каждый из них будет оставлять на экране след в виде сравнительно малой точки (говорят, что фотон локализуется в той или иной области пространства). Если провести достаточно длинную экспозицию, то эти точки образуют на экране те же полосы, что и при большой интенсивности света. Это означает, что каждый фотон участвует в формировании интерференционной картины, т.е. интерферирует сам с собой! Эксперименты показывают, что фотон нельзя разделить на части, в частности нельзя поглотить только часть фотона. Поэтому нельзя представлять ситуацию, так что фотон, разделяясь, одновременно проходит через обе щели. Интуитивно понятных образов, которыми мы пользуемся при описании класси-

ческих объектов, для описания поведения квантовых объектов не существует.

Квантовая механика не интуитивна. Этот пробел она заменяет математикой. В частности ситуацию с фотоном в опыте Юнга (и во многих других подобных экспериментах) математический аппарат квантовой механики описывает с помощью квантовой суперпозиции состояний. А именно, если для квантовой физической системы возможно состояние, описываемое волновой функцией Ψ_1 и состояние с волновой функцией Ψ_2 , то общее состояние системы описывается волновой функцией

$$\Psi = C_1\Psi_1 + C_2\Psi_2,$$

где C_1 и C_2 в общем случае комплексные числа, определяемые из условия нормировки волновой функции. Для описания интерференционной картины в опыте Юнга для простоты положим эти коэффициенты действительными числами и равными друг другу, а волновую функцию фотона запишем через волну де Бройля. Тогда имеем

$$\Psi = Ce^{-i(\omega t - kx_1)} + Ce^{-i(\omega t - kx_2)} = Ce^{-i\omega t} (e^{ikx_1} + e^{ikx_2}).$$

Здесь x_1 и x_2 пути, проходимые фотоном через первую и вторую щель до одной и той же точки на экране.

Для нахождения плотности вероятности умножим на комплексно сопряженную функцию, получим:

$$\begin{aligned} \Psi\Psi^* &= Ce^{-i\omega t} (e^{ikx_1} + e^{ikx_2})Ce^{i\omega t} (e^{-ikx_1} + e^{-ikx_2}) = \\ &= C^2 + C^2 + C^2(e^{i(kx_1 - kx_2)} + e^{-i(kx_1 - kx_2)}). \end{aligned}$$

С учетом формулы Эйлера окончательно получаем

$$\Psi\Psi^* = 2C^2 + 2C^2 \cos k(x_2 - x_1).$$

Что совпадает с классической формулой интерференции. Для каждого конкретного фотона квантовая механика не дает ответа на вопрос, через какую щель прошел фотон, но усредненный результат по большому числу фотонов приводит к наблюдаемому на опыте результату. Регистрация фотона на экране есть измерение. До этого момента фотон находился в квантовой суперпозиции состояний. Если мы попытаемся определить через какую щель прошел фотон, т.е. проведем измерение его состояния, то мы разрушим состояние квантовой суперпозиции и на экране получим две полосы.

Рассмотрим интерферометр Маха-Цендера (рис. 1). Если бы фотоны были классическими частицами, то детекторы зарегистрировали бы по 50% фотонов: каждый детектор по 25% фотонов идущих по верхнему плечу и по 25% фотонов идущих по нижнему плечу. Но реальность тако-

ва, что после прохождения первого полупрозрачного зеркала фотоны будут находиться в квантовой суперпозиции состояний: прохождение фотона по верхнему плечу интерферометра и по нижнему плечу. Если плечи интерферометра абсолютно одинаковы, то в результате интерференции все 100% фотонов будут регистрироваться детектором 2. Если на нижнем плече перед вторым полупрозрачным зеркалом поставить детектор 3 (на рисунке не показан), то мы разрушим суперпозицию и оставшиеся 50% фотонов, прошедших по верхнему плечу, будут регистрироваться детекторами 1 и 2 поровну.

Рассмотрим мысленный эксперимент Элицура-Вайдмана. Пусть имеются бомбы, взрыватель которых представляет собой зеркало и срабатывает от попадания на него одного фотона. Часть бомб не рабочая. Как отобрать из общего числа сколько-то рабочих бомб, не взрывая их? Будем вместо нижнего зеркала располагать бомбу с ее зеркальным взрывателем. Тогда если бомба не рабочая, то фотон попадет в детектор 2. Если же бомба рабочая, то она разрушает суперпозицию. Бомба взорвется, если фотон пойдет по нижнему плечу. Если же он пойдет по верхнему плечу, то с вероятностью 25% фотон попадет в детектор 1. А это значит, что если фотон зарегистрирован 1 детектором, то бомба рабочая и не взорвалась! Регистрация фотона – это измерение. Измерение – это получение информации, пусть даже и косвенно, не прикасаясь к интересующему нас объекту. Рабочая бомба обязана сработать, если на нее попадет фотон, тем самым она измеряет состояние фотона и разрушает интерференцию. Интерференция наблюдается тогда, когда информация о реализации той или иной альтернативной возможности отсутствует в природе.

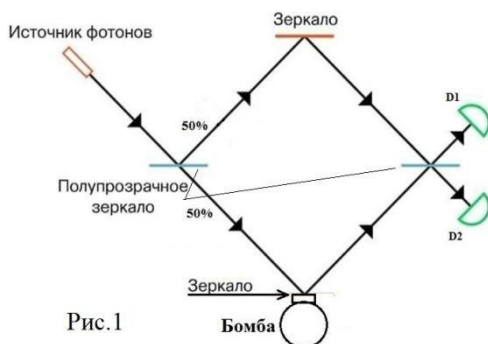


Рис.1

Бомба взорвется, если фотон пойдет по нижнему плечу. Если же он пойдет по верхнему плечу, то с вероятностью 25% фотон попадет в детектор 1. А это значит, что если фотон зарегистрирован 1 детектором, то бомба рабочая и не взорвалась! Регистрация фотона – это измерение. Измерение – это получение информации, пусть даже и косвенно, не прикасаясь к интересующему нас объекту. Рабочая бомба обязана сработать, если на нее попадет фотон, тем самым она измеряет состояние фотона и разрушает интерференцию. Интерференция наблюдается тогда, когда информация о реализации той или иной альтернативной возможности отсутствует в природе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Фейнман Р. КЭД – странная теория света и вещества. М.: Наука, 1988. 144 с.
2. Львовский А. Отличная квантовая механика. М.: Альпина нон-фикшн, 2019. 422 с.

ОБОБЩЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРО ЧЕТЫРЕХ ЧЕРЕПАХ

А.В. Косицына, А.М. Хабаров, А.Ю. Соколов

Научный руководитель – **А.Ю. Соколов**, канд. физ.-мат. наук,
доцент

Предложено строгое математическое решение кинематической задачи о движении n черепах, изначально располагающихся в вершинах правильного n -угольника известного размера и все время движущихся с постоянной скоростью в направлении соседней черепахи.

Ключевые слова: математическое решение, кинематическая задача, скорость, направление, проекция, декартова система координат.

GENERALIZATION OF THE “FOUR TURTLES” PROBLEM

A.V. Kosytsyna, A.M. Habarov, A.Y. Sokolov

Scientific Supervisor – **A.Yu. Sokolov**, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Assistant Professor

A rigorous mathematical solution to the kinematic problem of the motion of n turtles, initially located at the vertices of a regular n -gon of a known size and always moving in the direction of the neighboring turtle at a constant speed, is proposed.

Keywords: mathematical solution, kinematic problem, speed, direction, projection, cartesian coordinate system

Многим, изучавшим и изучающим физику, известна задача про четырех черепах, изначально располагающихся в вершинах квадрата со стороной a (рис. 1). Все черепахи одновременно начинают движение с постоянной скоростью v и все время держат курс на соседнюю черепаху. В задаче спрашивается: где и через какое время черепахи встретятся? Ответ на первую часть вопроса достаточно очевиден. В силу симметрии задачи, так как черепахи все время будут находиться в вершинах постепенно поворачивающегося и уменьшающегося в размерах квадрата, то встретятся они в его центре. Для ответа на вторую часть вопроса в учебной литературе [1] предлагается, например, взять составляющую скорости черепахи на направление АО

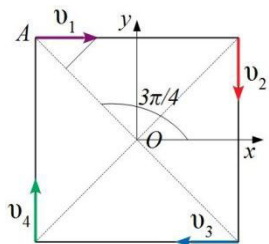


Рис.1

движения ее к центру. Тогда время до встречи равно

$$t = \frac{a/\sqrt{2}}{v/\sqrt{2}}. \quad (1)$$

Рассмотрим эту задачу в более общем виде. Пусть имеется черепах, изначально располагающихся в вершинах правильного n -угольника со стороной a , и требуется найти уравнение движения черепах в неподвижной декартовой системе координат. В произвольный момент времени черепаха находится в вершине n -угольника (точка A на рис. 2, b – длина стороны многоугольника в этот момент времени). За бесконечно малое время dt черепаха переместится в точку C . В полярной системе координат с началом координат в центре квадрата (точка O) радиус r (отрезок OA) за время dt повернется наугол $d\varphi$ и уменьшится на dr . В силу малости $d\varphi$ четырехугольник $ABCD$ можно считать прямоугольным. Тогда $dr = -r d\varphi \operatorname{tg} \theta$. Разделяя переменные и интегрируя, получаем

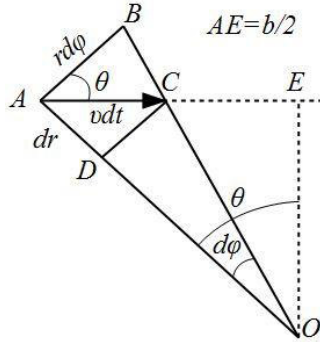


Рис.2

$$\ln \frac{r}{r_0} = -\varphi \operatorname{tg} \theta, \quad (2)$$

$$r = r_0 e^{-\varphi \operatorname{tg} \theta}.$$

Здесь r_0 – длина радиус-вектора в начальный момент времени. Она равна $a/2 \sin \theta$. $\angle OAC$ – угол между диагональю правильного многоугольника и его стороной, он составляет $\frac{n-2}{2n} \pi$. Тогда $\theta = \frac{\pi}{2} - \frac{n-2}{2n} \pi = \frac{\pi}{n}$. Угол поворота φ есть функция времени. Найдем эту зависимость. Из рис. 2 следует, что угол $d\varphi = \frac{v \cos \theta dt}{r}$, при этом модуль радиус вектора уменьшается со временем со скоростью $\frac{dr}{dt} = v \sin \theta$, так что $r = r_0 - v \sin \theta t$. Таким образом, угол поворота φ в момент времени t определяется интегралом

$$\begin{aligned} \varphi(t) &= \int_0^t \frac{v \cos \theta}{r_0 - v \sin \theta t} dt = \int_0^t \frac{v \cos \theta}{a/2 \sin \theta - v \sin \theta t} dt = \\ &= \int_0^t \frac{2v \sin \theta \cos \theta}{a - 2v \sin^2 \theta t} dt = \frac{2v \sin \theta \cos \theta}{-2v \sin^2 \theta} \int_0^t \frac{d(a - 2v \sin^2 \theta t)}{a - 2v \sin^2 \theta t} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -\operatorname{ctg}\theta[\ln(a - 2v\sin^2\theta t) - \ln a] = -\operatorname{ctg}\theta \ln\left(\frac{a - 2v\sin^2\theta t}{a}\right) = \\
 &= -\operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{n}\right) \ln\left(\frac{a - 2v\sin^2\left(\frac{\pi}{n}\right)t}{a}\right).
 \end{aligned}$$

В итоге с учетом (2) получаем:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{a}{2\sin\left(\frac{\pi}{n}\right)} e^{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right) \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{n}\right) \ln\left(\frac{a - 2v\sin^2\left(\frac{\pi}{n}\right)t}{a}\right)} = \frac{a}{2\sin\left(\frac{\pi}{n}\right)} \left(\frac{a - 2v\sin^2\left(\frac{\pi}{n}\right)t}{a}\right)^{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right) \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{n}\right)} = \\
 &= \frac{a - 2v\sin^2\left(\frac{\pi}{n}\right)t}{2\sin\left(\frac{\pi}{n}\right)}.
 \end{aligned}$$

Откуда следует, что черепаха окажется в центре квадрата ($r = 0$), когда $t = a / 2v\sin^2\left(\frac{\pi}{n}\right)$. При $n = 2$ получаем $t = a / 2v$ (черепахи идут навстречу

друг другу), при $n = 3t = 2a / 3v$, при $n = 4$ это выражение примет вид $t = a / v$, что совпадает с (1). При $n \rightarrow \infty$ и конечном расстоянии a между черепахами они никогда не встретятся, а будут двигаться друг за другом по окружности бесконечного радиуса.

Перейдём в декартову систему координат. Начало отсчёта удобнее расположить в центре n -угольника. Угол между радиус-вектором первой черепахи и положительным направлением оси Ox обозначим через γ . Для всех остальных черепах этот угол будет определяться выражением $\gamma + \frac{2\pi k}{n}$, где $k = 1, 2, \dots, n - 1$.

Тогда движение черепах будет описываться следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}
 x &= r \cos\left(\gamma + \frac{2\pi k}{n} - \varphi\right) = \\
 &= \frac{a - 2v\sin^2\left(\frac{\pi}{n}\right)t}{2\sin\left(\frac{\pi}{n}\right)} \cos\left(\gamma + \frac{2\pi k}{n} + \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{n}\right) \ln\left(\frac{a - 2v\sin^2\left(\frac{\pi}{n}\right)t}{a}\right)\right) \\
 y &= r \sin\left(\gamma + \frac{2\pi k}{n} - \varphi\right) = \\
 &= \frac{a - 2v\sin^2\left(\frac{\pi}{n}\right)t}{2\sin\left(\frac{\pi}{n}\right)} \sin\left(\gamma + \frac{2\pi k}{n} + \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{n}\right) \ln\left(\frac{a - 2v\sin^2\left(\frac{\pi}{n}\right)t}{a}\right)\right).
 \end{aligned}$$

Вид траекторий всех черепах при $n = 4$ представлен на рис. 3.

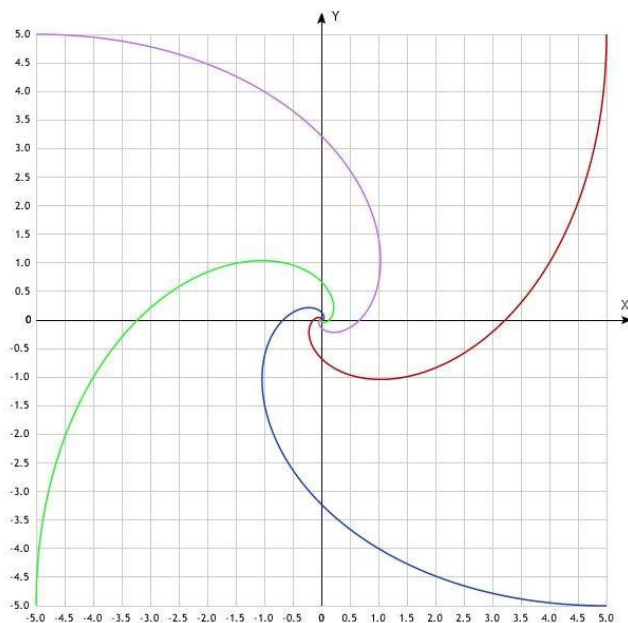


Рис.3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гельфгат И.М. 1001 задача по физике с решениями / И.М. Гельфгат, Л.Э. Генденштейн, Л.А. Кирик. Харьков-Москва: Центр «Инновации в науке, технике, образовании», 1998.
2. Савельев И.В. Курс физики. В 3 т.: Учебник. М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит-ры, 1989.

УДК 621.1

АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ГТД С РАБОЧИМ ТЕЛОМ, ОБОГАЩЁННЫМ КИСЛОРОДОМ

Ю.В. Кустиков, С.В. Веретенников, В.И. Богданов

Научные руководители – **С.В. Веретенников**, канд. техн. наук,
доцент; **В.И. Богданов**, д-р техн. наук, профессор

Рыбинский государственный авиационный университет
им. П.А. Соловьёва

*Рассматриваются циклы газотурбинного двигателя с изобарным и изо-
хорным подводами теплоты с обычным воздухом и обогащённым кислородом.*

Ключевые слова: цикл газотурбинного двигателя, обогащение кислородом

ANALYSIS OF THERMODYNAMIC CYCLES OF A GAS TURBINE ENGINE WITH AN OXYGEN-ENRICHED WORKING FLUID

Y.V. Kustikov, S.V. Veretennikov, V.I. Bogdanov

Scientific Supervisors - **S.V. Veretennikov**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor; **V.I. Bogdanov**, Doctor of Technical
Sciences, Professor

Soloviev Rybinsk State Aviation Technical University

*In this paper, the cycles of a gas turbine engine with isobaric and isochoric
heat supply with ordinary air and enriched with oxygen are considered.*

Keywords: cycles of a gas turbine engine, oxygen enrichment

Совершенствование тепловых машин является важным направлением современной науки. Как способ дальнейшего развития ГТД рассматривается реализация цикла с подводом теплоты при постоянном объёме и обогащение рабочего тела кислородом [1].

Цель данной работы – исследовать влияние обогащения кислородом воздуха, подающегося в ГТД, на термодинамические показатели ГТД.

В настоящей работе использованы следующие допущения:

- все газы считаются идеальными;
- воздух, подающийся в компрессор, состоит только из кислорода и азота, в нём нет других газов и водяных паров;

- водяной пар считается также идеальным газом;
- отсутствуют фазовые переходы, все вещества приняты газообразными;
- количество метана в продуктах сгорания принято пренебрежимо малым.

При расчёте параметров ГТД была использована следующая методика. За отправную точку исследования взята реакция горения метана в воздухе:



Для расчёта заданы параметры: масса метана m , подающаяся на 1 кг входящего воздуха, объёмная доля кислорода в подающемся в компрессор воздухе, давление на входе в компрессор $p_1 = 95\,000$ Па, температура на входе в компрессор $T_1 = 273$ К, степень сжатия в компрессоре $\pi = 10$, низшая теплотворная способность топлива $Q_T = 53919$ кДж/кг, КПД компрессора $\eta_k = 0,86$, КПД турбины $\eta_T = 0,92$, степень сохранения давления в камере сгорания $\eta_{kc} = 0,94$, полнота сгорания топлива $\sigma_{kc} = 0,99$.

Расчёты проводились для 1 кг рабочего тела.

Согласно химической формуле определены массовые и объёмные доли химических веществ, и по ним найдены газовая постоянная на входе и выходе из компрессора (смесь азота и кислорода) и на входе и выходе из турбины (водяной пар, углекислый газ, азот и кислород), также определены постоянные адиабаты по формуле

$$k = \sum g_i k_i, \quad (1)$$

где g_i – массовая доля компонента; k_i – показатель адиабаты компонента. Далее вычислялась работа на компрессоре по формуле

$$l_{\text{сж реал}} = \frac{k_k * R_k * T_1}{k_k - 1} * \left(1 - \pi^{\frac{k_k - 1}{k_k}} \right) * \frac{1}{\eta_k}, \quad (2)$$

где параметры с индексом «к» – параметры на входе и выходе из компрессора.

По изменению энтальпии определялась температура на выходе из компрессора, степени сжатия – давление и уравнению Менделеева-Клапейрона – удельный объём.

Давление на входе в турбину для изобарного подвода теплоты определялась по степени сохранения давления в камере сгорания, температура – по формуле

$$T_3 = \frac{\frac{k_k}{k_k - 1} * R_k * T_2 + \sigma_{kc} * m * Q_T}{(1 + m) * \frac{k_T}{k_T - 1} * R_T}, \quad (3)$$

где параметры с индексом «т» – параметры на входе и выходе из турбины. Удельный объём находится по уравнению Менделеева-Клапейрона.

Для изохорного подвода теплоты температура на входе в турбину определится по формуле

$$T_3 = \frac{\frac{1}{k_T-1} * R_k * T_2 + \sigma_{КС} * m * Q_T}{(1+m) * \frac{1}{k_T-1} * R_T} \quad (4)$$

Удельный объём остаётся неизменным, давление находится с учётом степени сохранения давления и уравнения Менделеева-Клапейрона.

Далее находится работа расширения. Для изобарного подвода теплоты она определится по формуле

$$l_{\text{рас.реал.}} = \frac{k_T R_T T_3}{k_T - 1} * \left(1 - \frac{1}{\left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{k_T-1}{k_T}}} \right) * \eta_T \quad (5)$$

Для изохорного подвода теплоты эта формула

$$l_{\text{рас.реал.}} = \left(\frac{k_T R_T T_3}{k_T - 1} * \left(1 - \frac{1}{\left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{k_T-1}{k_T}}} \right) - (p_3 - p_2) * v_2 \right) * \eta_T \quad (6)$$

Температура на выходе из турбины находится по изменению энтальпии при отводе энергии при расширении на турбине, давление равно заданному p_1 , удельный объём определяется по уравнению Менделеева-Клапейрона.

Теоретически полезная работа находится как разность модулей работ расширения и сжатия.

Подведённая теплота определяется как разница энтальпий на выходе из турбины и входе в компрессор.

Отведённая теплота в изохорном процессе находится как разница внутренних энергий на входе в турбину и выходе из компрессора, в изобарном – как разница энтальпий на входе в турбину и выходе из компрессора.

КПД может быть найден как отношение теоретически полезной работы к подведённой теплоте.

Проведём анализ полученных результатов. Будем варьировать объёмную долю кислорода в подаваемом воздухе от 21 до 41% с шагом 10% для изобарного и изохорного подвода теплоты.

Будем подбирать такую массу метана, что температура на входе в турбину будет составлять около 1773 К.

Сводные данные энергетики цикла при подводе теплоты при постоянном давлении и постоянном объеме приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Сводные данные энергетики цикла при подводе теплоты при постоянном давлении

$r(\text{O}_2)$	q_1 , Дж/кг	q_2 , Дж/кг	l теор. полезная, Дж/кг	КПД, %	m , г
0,21	1278411	764065	514345	40,23	24,81
0,31	1261498	753815	507682	40,24	24,47
0,41	1244562	743573	500989	40,25	24,13

Таблица 2. Сводные данные энергетики цикла при подводе теплоты при постоянном объёме

$r(\text{O}_2)$	q_1 , Дж/кг	q_2 , Дж/кг	l теор. полезная, Дж/кг	КПД, %	m , г
0,21	916153	532051	447220	48,809	17,59
0,31	903457	524676	441009	48,813	17,349
0,41	891774	517882	435363	48,816	17,114

При увеличении объёмной доли кислорода в подаваемом воздухе уменьшается необходимое количество метана, несколько растёт КПД, при этом КПД цикла при изохорном подводе теплоты значительно выше (табл. 2).

Зафиксируем подачу топлива на уровне 20 г на килограмм рабочего тела. При этом заметно растёт КПД по мере увеличения концентрации кислорода, растёт теоретически полезная работа.

Таблица 3. Сводные данные КПД цикла для изохорного и изобарного подвода теплоты

$r(\text{O}_2)$	Изохорный подвод		Изобарный подвод	
	l теор. полезная, Дж/кг	КПД, %	l теор. полезная, Дж/кг	КПД, %
0,21	521904	50,249	409227	39,5228
0,31	523197	50,368	409925	39,5843
0,41	524466	50,485	410604	39,6442

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев Ю.В. О перспективах комплексной реализации в ГТД циклов с подводом тепла при $V=\text{const}$ с отделением азота и STIG-технологий / Ю.В. Алиев, В.И. Богданов, С.В. Веретенников, В.П. Сизов и др.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ В МОДЕЛИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАФИКА

М.А. Погребняк, И.С. Кашенко

Научный руководитель – **И.С. Кашенко**, д-р физ.-мат. наук,
доцент

Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова

Работа посвящена оценке параметров в модели автомобильного трафика, которая представляет собой систему дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом. Основным результатом работы является получение диапазона значений для параметров a_n , q_n , k_n . Оценка параметров модели производилась с помощью аналитических вычислений и численного эксперимента. Для последнего была разработана специальная компьютерная программа.

Ключевые слова: математическая модель, динамика движения транспортного потока

PARAMETERS ESTIMATION IN THE TRAFFIC FLOW MODEL

M.A. Pogrebnyak, I.S. Kashchenko

Scientific Supervisor – **I.S. Kashchenko**, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor

P.G. Demidov Yaroslavl State University

This paper presents a parameters estimation in the traffic flow model. The model is represented by a system of differential equations with a time delay. The main result of this paper is the calculation of the range of values for the parameters a_n , q_n , k_n . The parameters of the mode were estimated with analytical calculations and numerical experiment. For the numerical experiment a special computer program was developed.

Keywords: mathematical model, traffic flow dynamics

Работа посвящена оценке параметров в математической модели следования за лидером, которая описывает движение $N \in \mathbb{N}$ автомобилей. Она является улучшенной версией модели, предложенной в [1], и имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = R_1 \left[a_n (v_{max,1} - \dot{x}_n(t)) \right] + (1 - R_n) \left[-H_1 \frac{\dot{x}_1^2(t)}{\Delta x_1 - l_1} \right], \\ \dot{x}_n(t) = R_n \left[a_n \left(\frac{v_{max,n} - V_n}{1 + \exp[k_n(-\Delta x_n + S_n)]} + V_n - \dot{x}_n(t) \right) \right] + \\ \quad + (1 - R_n) \left[H_n \frac{\dot{x}_n(t)[V_n - \dot{x}_n(t)]}{\Delta x_n - l_n} \right], \\ x_n(t) = \lambda_n, \quad \dot{x}_n(t) = v_n, \quad \text{при } t \in [-\tau, 0], \end{cases} \quad (1)$$

где τ – время реакции водителя; $\Delta x_n(t, \tau) = x_{n-1}(t - \tau) - x_n(t)$ – расстояние между соседними автомобилями; $a_n > 0$ – коэффициент чувствительности, характеризующий обратное время согласования скорости двух соседних автомобилей и зависящий от их мощности; $v_{max,n} > 0$ – максимальная желаемая скорость; V_n – функция вида

$$V_n = \min(\dot{x}_{n-1}(t), v_{max,n}) \text{ при } n \geq 2, V_1 = 0$$

которая не позволяет автомобилю разогнаться быстрее, чем $v_{max,n}$; H_n – функция Хевисайда, вида

$$H_n = \begin{cases} q_n, & \text{если } \Delta x_n(t, \tau) - l_n > \varepsilon, \\ 0, & \text{если } \Delta x_n(t, \tau) - l_n \leq \varepsilon, \end{cases} \text{ при } 0 < \varepsilon \ll 1,$$

которая описывает торможение автомобиля, коэффициент $q_n > 0$ при этом показывает интенсивность торможения; l_n – сумма безопасного расстояния между двумя соседними автомобилями и длины впереди идущей машины $l_n = l_{safe} + l_{vehicle,n-1}$ ($l_{vehicle,0} = 0$); $x_0(t - \tau) = L$, где L – расстояние, которое должен проехать первый автомобиль до полной остановки; $k_n > 0$ – скорость логистического роста, которая показывает насколько плавно водитель преследующего автомобиля подстраивается под впереди идущий; S_n – параметр логистической кривой вида

$$S_n = (\tau + t_b) \dot{x}_n(t) + \dot{x}_n^2(t) / 2\mu g + 2\exp[1/\sqrt{k_n}] + l_n,$$

который отражает расстояние, начиная с которого влияние впереди идущего автомобиля перестаёт превалировать над преследующим; t_b – время срабатывания тормозной системы; λ_n – начальное положение автомобиля; v_n – начальная скорость автомобиля; μ – коэффициент трения скольжения; g – ускорение свободного падения, а R_n – релейная функция вида

$$R_n = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta x_n(t, \tau) > \dot{x}_n(t)(\tau + t_b) + \dot{x}_n^2(t) / 2\mu g + l_n, \\ 0, & \text{если } \Delta x_n(t, \tau) \leq \dot{x}_n(t)(\tau + t_b) + \dot{x}_n^2(t) / 2\mu g + l_n, \end{cases}$$

которая описывает переключение «разгон-торможение».

Опишем для примера определение диапазона значений параметра a_n , который характеризует обратное время согласования скоростей. Для

этого достаточно рассмотреть разгон только одного транспортного средства, так как этот параметр не зависит от количества автомобилей и расположения их в потоке. Рассмотрим фазу разгона ($R = 1$) одного транспортного средства модели (1).

$$\begin{cases} \ddot{x}(t) = a(v_{\max} - \dot{x}(t)), \\ x(0) = 0, \quad \dot{x}(0) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Для моделирования разгона автомобиля была написана компьютерная программа, которая, используя метод Рунге-Кутты [2], решает уравнение (2) при разных значениях коэффициента a и замеряет время разгона автомобиля до скорости v_{\max} . В среднем время разгона легкового автомобиля до скорости $v_{\max} = 100$ км/ч находится в промежутке от 5 до 15 секунд [3]. Значения коэффициента a при этом находится в следующем диапазоне $a \in [0.31, 0.92]$, что видно на рис. 1. При среднем времени разгона 10 секунд a среднее будет равняться 0.46.

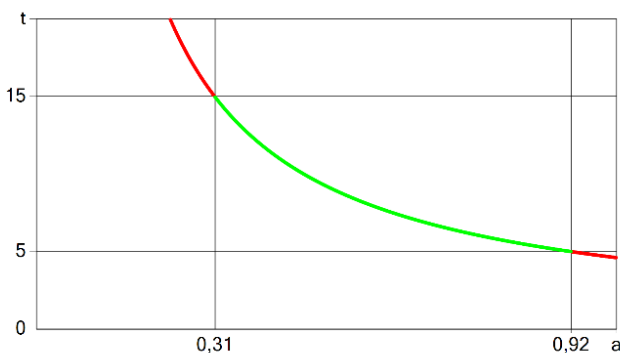


Рис. 1. График времени разгона до $v_{\max} = 100$ км/ч при различных значениях параметра a

Аналогично определяются и другие параметры.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-71-30011)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Погрёбняк М. А. Моделирование движения транспортного потока // Математическое моделирование. 2022. Т. 34, № 10. С. 95-109.
2. Бахвалов Н.С. Численные методы. М.: Наука, 1975.
3. Пожидаев С.П. Оценка времени разгона автомобилей // Известия Оренбургского гос. аграр. ун-та. 2014. № 5(49). С. 74-76.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

**А.Р. Байбасарова, Н.Н.Умыржан, И.Д. Арчаков,
О.А. Степанова**

Научный руководитель – **О.А. Степанова**, канд. техн. наук,
доцент

Некоммерческое акционерное общество
«Университет им. Шакарима города Семей»

Представлен анализ существующих методов определения теплофизических характеристик изоляционных материалов. Отмечены положительные стороны каждого метода. Рассмотрена важность учета различных факторов на точность проводимых исследований.

Ключевые слова: теплофизические характеристики, теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость, регулярный режим.

ON THE QUESTION OF DETERMINING THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS

**A.R. Baibasarova, N.N. Umyrzhhan, I.D. Archakov,
O.A. Stepanova**

Scientific Supervisor - **O.A. Stepanova**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Non-profit Joint-stock Company «Shakarim University of Semey»

An analysis of existing methods for determining the thermophysical characteristics of insulating materials is presented. The positive aspects of each method are noted. Considered the importance of taking into account various factors on the accuracy of research.

Keywords: thermophysical characteristics, thermal conductivity, thermal diffusivity, heat capacity, regular mode.

Потребность в надежных и эффективных изоляционных материалах является стимулом в развитии производств новых материалов с за-

данными свойствами и характеристиками. Данному вопросу посвящены работы многих ученых, в которых предлагаются технологии изготовления и методы испытаний [1-3].

Большое значение при выборе теплоизоляционных материалов имеют их теплофизические свойства, такие как удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности, температурные деформации, огнестойкость. От правильно выбранного метода исследования тепловых свойств материала в большой степени будет зависеть расчет конструкций.

Методы определения теплофизических свойств могут быть стационарными, нестационарными и комплексными. В основе стационарных методов исследования лежит закон Фурье для стационарного теплового потока. Теория теплопроводности при нестационарном тепловом потоке является базой для нестационарных методов исследования [4].

При описании стационарных методов учитывается, что характерным является независимое распределение температуры во времени. Во время проведения измерения тепловой поток, который проходит через изучаемый материал, остается постоянным как по величине, так и по времени. Недостатками таких методов является то, что необходимо строго выполнять условия граничных условий первого рода и то, что сам процесс измерения довольно продолжительный [4, 5].

В случае нестационарных методов определения теплофизических характеристик в исследуемых материалах температура изменяется с течением времени, что дает возможность проводить эксперимент без изменения теплового потока. Преимущество нестационарных методов в том, что требования к тепловой защите невысокие, процесс измерения менее продолжительный, а также затрачивается меньшее количество энергии. С помощью нестационарных методов исследования можно определить несколько теплофизических характеристик одновременно [4, 5].

На выбор метода исследования оказывают влияние ряд факторов, учет которых обеспечит максимальную достоверность получаемых результатов, так, например, при исследовании теплопроводности материалов, используемых для изоляции, важно учитывать влажность, которая будет оказывать существенное влияние на величину коэффициента. Большое распространение получил метод регулярного режима, который с достаточной степенью точности показывает значения теплопроводности, температуропроводности и теплоемкости. Данный метод нами выбран для сравнения используемых материалов в ограждающих конструкциях для замены их на более эффективные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бамбетова К.В.* Влияние влаги на теплотехнические свойства изоляционных материалов применяемых в строительстве тепловых сетей // Вопросы науки и образования. 2022. № 7 (163). С. 63-66.
2. *Долинская Р.М.* Влияние мягчителя на свойства изоляционных материалов / Р.М. Долинская, Н.Р. Прокопчук // Технология органических веществ: материалы 84-й науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, научных сотрудников и аспирантов, посвящ. 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с междунар. участием). Минск: БГТУ, 2020. С. 179-181.
3. *Жаббиев Р.М.У.* Разработка новых видов рулонных изоляционных материалов на основе нетрадиционных битумов и изучение их физико-механических свойств / Р.М.У. Жаббиев, Ш.К. Аитова, М.Ж. Жуманиязо // Universum: технические науки. 2019. № 11-2 (68). С. 44-46.
4. Тепловые методы технической диагностики строительных материалов и изделий: монография / В.Н. Чернышов, В.Г. Однолько, А.В. Чернышов, В.М. Фокин. М.: Изд-во «Машиностроение-1», 2007. 208 с.
5. *Исаченко В.П.* Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. М.: Энергия, 1975. 488 с.

ЭФФЕКТ ХОЛЛА

Е.В. Тчанникова, П.А. Иванов

Научный руководитель – **П.А. Иванов**, канд. физ.-мат. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассказывается о таком гальваномагнитном явлении, как эффект Холла, чем оно обусловлено и где применяется.

Ключевые слова: эффект Холла, сила Лоренца, эквипотенциальные поверхности, постоянная Холла

HALL EFFECT

E.V. Tchannikova, P.A. Ivanov

Scientific Supervisor – **P.A. Ivanov**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

It tells about such a galvanomagnetic phenomenon as the Hall effect, what causes it and where it is used.

Keywords: Hall effect, Lorentz force, equipotential surfaces, Hall constant

Явление, обнаруженное Эдвином Холлом в 1879 г., заключается в возникновении разности потенциалов $U_H = \varphi_1 - \varphi_2$ между гранями пластинки параллельными току и полю, при помещении этой металлической пластинки, вдоль которой течет постоянный электрический ток, в перпендикулярное ей магнитное поле. Её величина определяется выражением

$$U_H = RbjB, \quad (1)$$

где b - ширина пластинки; j - плотность тока; B - магнитная индукция поля; R - разный, коэффициент пропорциональности, постоянная Холла.

При отсутствии магнитного поля ток в пластинке обусловлен электрическим полем - E_0 . Эквипотенциальные поверхности поля, сплошные линии на рис.1, образуют систему плоскостей, перпендикулярных к век-

тору E_0 . Потенциал во всех точках поверхности одинаков, в частности, в точках 1 и 2. Носители тока – электроны – имеют отрицательный заряд, поэтому скорость их упорядоченного движения противоположна по направлению вектору плотности тока $-j$.

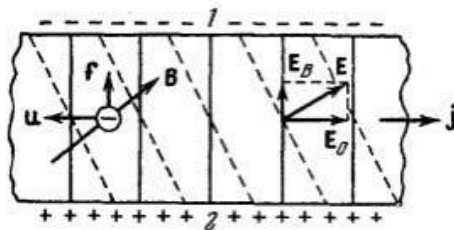


Рис. 1. Распределение зарядов на поверхности пластинки

При воздействии магнитного поля сила Лоренца, направленная вдоль стороны b пластинки и равной по модулю $f = euB$, действует на все носители.

Составляющая движения электронов направлена к верхней грани. Сверху пластинки образуется избыток отрицательных зарядов, а снизу – положительных, из-за чего возникает дополнительное поперечное электрическое поле $-E_B$. Когда напряженность этого поля станет настолько велика, что его действие на заряды будет уравнивать силу, установится стационарное распределение зарядов в поперечном направлении. Соответственно значение E_B определяется из условия: $eE_B = euB$, откуда

$$E_B = uB \quad (2)$$

Результирующее поле E – сумма поперечного электрического поля E_B с полем E_0 . Эквипотенциальные поверхности перпендикулярны к вектору напряженности поля в каждой точке, они занимают положения, изображенные на рис. 1 пунктиром. Точки 1 и 2, лежавшие ранее на одной эквипотенциальной поверхности, будут иметь разные потенциалы. Чтобы найти напряжение, возникающее между этими точками, нужно умножить E_B на расстояние между ними $-b$. Выразим u через j , n , e ($j = neu$)

$$U_H = bE_B = \frac{1}{ne} \cdot bjB. \quad (3)$$

$$R = \frac{1}{ne}. \quad (4)$$

Постоянная Холла может принимать как положительные, так и отрицательные значения, а измерив её можно найти концентрацию носителей тока (т.е. их число в единице объема).

Общий вид зависимости E и j в изотропном теле имеет вид

$$E = p^{(0)}j + R[H * j] + \beta_1 j H^2 + \beta_2 H(Hj). \quad (5)$$

Если в поле напряженности E носители приобретают скорость u (средняя скорость, носителей в поле (подвижность)), то подвижность их u_0 равна

$$u_0 = u/E. \quad (6)$$

Подвижность измеряется в $1 \text{ м}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$.

Подвижность связана с проводимостью σ и концентрацией носителей n , через соотношение $j = neu$ и напряженность поля E . Учтя, что соотношение j к E даёт σ , а u , деленное на E , есть подвижность, получим

$$\sigma = neu_0. \quad (7)$$

Явление Холла наблюдается не только в металлах, но и в полупроводниках, причем по знаку эффекта можно судить о принадлежности проводника к n - и p -типу.

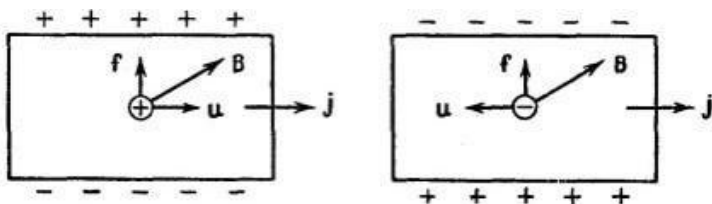


Рис. 2. Эффект Холла у положительных и отрицательных носителей

На рисунке сопоставлен эффект Холла (далее ЭХ) для образцов с положительными и отрицательными носителями. При изменении направления движения заряда и при изменении его знака, направление силы Лоренца изменяется на противоположное. Следовательно, при одинаковом направлении тока сила Лоренца, действующая на положительные и отрицательные носители, имеет одинаковое направление. У положительных носителей потенциал верхней грани выше, чем нижней, а у отрицательных – ниже. Таким образом, определив знак разности потенциалов, можно установить знак носителей тока. У некоторых металлов из-за особенностей зонной структуры знак носителей тока U_H соответствует положительным носителям

тока, что объясняется переходом части электронов с верхних уровней на нижние, из-за чего появляются свободные электроны и дырки равном количестве. Проводимость такого металла имеет электронно-дырочный (смешанный) характер. Аномальный (для металлов) знак ЭХ обусловлен тем, что дырки обладают большей подвижностью, чем электроны.

ЭХ применяется для изучения особенностей полупроводников. С помощью него вычисляют количество носителей заряда на единицу объема, их подвижность. Пользуясь ЭХ можно отличить электрон от квазичастицы с положительным зарядом.

Датчики Холла за счет ЭХ измеряют напряженность магнитного поля. Исполняя роль датчика обратной связи, применяются для построения моторов со следящим приводом. Они измеряют угол поворота вала мотора. Также датчики Холла устанавливаются в электростартерах ДВС, охлаждающие системы ПК, навигационных системах мобильных телефонов, применяются для вычисления количества заряда.

Дробный квантовый ЭХ наблюдается в магнитных потоках с большой силой индукции. Он взаимосвязан с перестроением внутренней структуры двумерной электронной жидкости. Спиновый ЭХ наблюдается у не намагниченных проводников, не помещенных в поле действия силовых линий магнита. Заключается действие эффекта в отклонении электронов с антипараллельными спинами к противоположным краям пластины.

Существуют и другие ЭХ, например, планарный, тепловой, эффект Нернста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики. В 3 т. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика.: Учеб. пособие. 3-е изд., испр. М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит.-ры, 1988. 496 с.
2. *Матвеев А.Н.* Электричество и магнетизм: Учеб. пособие. М.: Высш. школа, 1983. 463 с.

ОБЛАКО ООРТА

А.Д. Безднин, О.Ф. Огнева

Научный руководитель – **О.Ф. Огнева**, канд. физ.-мат. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

В работе поднимается вопрос о возможности существования на границе Солнечной системы некоторой области под названием Облако Оорта. Исследуются косвенные факты его существования, а также кометы, которые могут входить в состав этой области.

Ключевые слова: *Облако Оорта, Ян Оорт, долгопериодические кометы, Солнечная система*

OORT CLOUD

A.D. Bezdnin, O.F. Ogneva

Scientific Supervisor – **O.F. Ogneva**, Candidate Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article raises the question of the possibility of the existence of some region called the Oort Cloud at the boundary of the solar system. The indirect facts of its existence, as well as the comets that may be part of this region are investigated.

Keywords: *Oort Cloud, Jan Oort, long-period comets, Solar System*

Облако Оорта – гипотетическая сферическая область Солнечной системы, являющаяся источником долгопериодических комет. Облако Оорта – ничто иное, как остаток протосолнечной туманности, давшей жизнь планетам и Солнцу путем слипания мельчайших частиц при помощи силы взаимного притяжения. Первичная туманность около центра была гораздо плотнее, поэтому планеты сформировались довольно быстро. В то время как ее внешние области были более разрежены, поэтому сходный процесс в них идёт в разы дольше [1].

Инструментально существование облака Оорта не подтверждено из-за большого расстояния между объектами облака, малых размеров

объектов облака (по сравнению с большими планетами), а также из-за его слабой освещённости. Однако некоторые косвенные факты указывают на его существование:

1. Орбиты долгопериодических комет очень сильно вытянуты и появляются со всех наклонений (не находятся в плоскости эклиптики). Пик распределения афелиев этих комет находится в 20 тысячах астрономических единиц от Солнца. Это значит, что они пришли в Солнечную систему не из глубокого космоса, а из некоторой области вокруг нашей системы [2].

2. Долгопериодические кометы всё ещё существуют в Солнечной системе. За миллиарды лет её существования Солнечная энергия должна была выпарить их, они должны были столкнуться с планетами и звездой или же они могли быть выброшены за пределы Солнечной системы. Несмотря на все эти факторы, кометы продолжают существовать. Можно сделать вывод, что существует некоторая область-резервуар вокруг нашей Солнечной системы, из которой они появляются [3].

Впервые идея существования такого облака была выдвинута эстонским астрономом Эрнстом Эпиком в 1932 году. Он считал, что кометы могут прилетать из области на краю Солнечной системы. В 50-х гг. прошлого столетия идея была независимо выдвинута нидерландским астрофизиком Яном Оортом, исследовавшим происхождение долгопериодических комет [2].

Предположительно, облако располагается в 100 000–200 000 а.е. от Солнца (1 астрономическая единица – это среднее расстояние от Земли до Солнца). Облака Оорта состоит из двух частей: тороидальное внутреннее (2 000–20 000 а.е.) и сферическое внешнее облако (20 000 - 50 000 а.е., а по некоторым оценкам до 100 000–200 000 а. е). Во внешнем проживают триллионы тел с диаметром в 1 км и миллиарды 20-километровых. Во внутреннем же облаке в десятки или сотни раз больше кометных ядер, чем во внешнем. Сведений об общей массе нет. Исходя из проведённых исследований комет, можно предположить, что подавляющее большинство объектов облака Оорта состоят из различных льдов, образованных такими веществами, как вода, метан, этан, угарный газ и циановодород. Однако открытие объекта 1996 PW, астероида с орбитой, более типичной для долгопериодических комет, наводит на мысль, что в облаке Оорта могут быть и скалистые объекты.

Сейчас известно множество объектов, которые могли «прийти» к нам из Облака Оорта. Вот некоторые из них:

- C/2014 UN271 обнаружили в архивных данных Обзора темной энергии космологи Гэри Бернштейн и Педро Бернардинелли. Команда японских и американских астрономов смогла подтвердить рекордные размеры ядра кометы – (119 ± 15) км. Расчеты размера по снимкам теле-

скопа «Хаббл» совпали с данными ALMA (137 ± 17 км), но поверхность ядра оказалась значительно темнее, чем думали ученые. Орбитальный период составляет около трех миллионов лет. По оценкам ученых, свой афелий, расположенный на расстоянии 40-55 тысяч астрономических единиц от Солнца, комета прошла больше миллиона лет назад и с тех пор «падает» в центр системы со скоростью около 35 405 километров в час. При диаметре порядка 120 км комета Бернардинелли—Бернштейна примерно в 50 раз больше большинства известных нам комет. Ее масса достигает 500 триллионов тонн [4].

- Хякутакэ (C/1996 B2) – долгопериодическая комета, т.е. комета с орбитальным периодом более двухсот лет. До 1996 года орбитальный период Хякутакэ составлял семнадцать тысяч лет, однако, после ее последнего прохода через Солнечную систему под влиянием гравитационных полей планет-гигантов он, предположительно, увеличился до 70 000-110 000 лет. Впервые для комет в составе Хякутакэ были обнаружены органические газы: метан и этан. Их наличие говорит о том, что местом рождения кометы было межзвездное пространство вдали от Солнца, которое испарило бы эти газы. Плоскость орбиты кометы располагается почти перпендикулярно плоскости эклиптики: она имеет наклонение в сто двадцать пять градусов. Долгий период Хякутакэ и особое расположение плоскости ее орбиты, по мнению ученых, говорят о том, что комета образовалась в облаке Оорта [5].

Распределение тел в облаке Оорта можно примерно оценить, опираясь на данные о седноидах – телах транснептуновой области, которые предположительно являются объектами внутренней части облака Оорта [6].

Есть информация, что через 26000 лет к Солнцу настолько близко подберется Альфа Центавра, что к планетам Солнечной системы устремится поток комет, отклонившихся от своих орбит в облаке Оорта. Есть вероятность, что подобные периоды случались и ранее. Именно в те моменты и усиливался процесс образования и формирования планет. Подсчитано, что пока существует наша планета, чужеродные звезды около десятка раз пронизали внутреннее пространство облака Оорта, усилив, таким образом, в тысячи раз движение комет. Длится это явление приблизительно 400000 лет, в ходе которого на Землю упадет в среднем две сотни комет, что в рамках науки принято считать настоящим космическим ливнем. Нам все еще не удалось добраться к поясу Койпера, а Облако Оорта расположено еще дальше. Дальше всех вылетел Вояджер-1, но ему все еще далеко. Он был запущен в 1977 году, на данный момент он преодолел лишь 23 млрд км или 153 а.е. при скорости в 17 км/с. Если учитывать его ускорение, то у аппарата (сейчас в межзвездном пространстве) уйдет еще 300 лет, чтобы прибыть к началу, и 30000 лет, чтобы полностью миновать облако. Итак, главная трудность в

исследовании – огромная удаленность. Пока зонд доберется, у нас минуют века. Сейчас мы можем лишь рассматривать прибывающие кометы.

Если предположить, что облако Оорта состоит из «строительных материалов» периода формирования Солнечной системы, то при изучении планетных систем у других звезд можно предположить наличие подобных структур на периферии экзопланетных систем. Если наблюдение объектов облака Оорта изнутри затруднено по ряду причин, упомянутых ранее, то ученые предполагают, что возможно наблюдение экзоблаков Оорта [7]. Анализ наблюдательных данных позволит сделать вывод, в частности, об уникальности облака Оорта в Солнечной системе либо о том, что подобные структуры характерны для всех или большинства экзопланетных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Облако Оорта // Википедия: [сайт]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Облако_Оорта
2. Облако Оорта // Журнал «Все о космосе». URL: <https://aboutspacejournal.net/вселенная/галактика/солнечная-система/облако-оорта/>
3. Затерянный мир: Облако Оорта // GALSPACE: [сайт]. URL: <http://galspace.spb.ru/index412.html>
4. «Чернее угля»: астрономы разглядели ядро огромной древней кометы // Naked Science: [сайт]. URL: <https://naked-science.ru/article/astronomy/kometa-gigant>
5. Солнечная система: сайт. URL: <http://www.sistemasolnca.ru/2011-03-04-14-07-15/komety/291-2015-02-07-20-15-08.html>
6. Новооткрытый седноид 2015 TG₃₈₇ прилетел из внутреннего облака Оорта // Элементы: [сайт]. URL: https://elementy.ru/novosti_nauki/433349/Novootkrytyy_sednoid_2015_TG_387_priletel_iz_vnutrennego_oblaka_Oorta
7. Ученые предположили существование облаков Оорта у других звезд // Naked Science: [сайт]. URL: [https://naked-science.ru/article/astronomy/uchenye-predpolozhili-sushchestvovanie](https://naked-science.ru/article/astronomy/uchenye-predpolozhili-sushchestvovanie-oblavok-Oorta-u-dругих-zvezd/)

УДК 520.2

ТЕЛЕСКОП КАК СПОСОБ ИЗУЧЕНИЯ КОСМОСА

М.А. Никонова, Н.Д. Малышкин, О.Ф. Огнева

Научный руководитель – **О.Ф. Огнева**, канд. физ.-мат. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Основное внимание в работе акцентируется на рассмотрение телескопов, их видах и принципе работы. Также затронута история их создания, рассмотрены только самые распространённые виды. Данная статья может быть полезна для знакомства с телескопами.

Ключевые слова: телескоп, изображение, аберрация, линза, зеркало, излучение, астроклимат, оптическая система, принцип работы

TELESCOPE AS A METHOD FOR STUDYING SPACE

M.A. Nikonova, N.D. Malyskin, O.F. Ogneva

Scientific Supervisor - **O.F. Ogneva**, Candidate Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The main focus of the paper is to look at telescopes, their types and how they work. It also touches on the history of their creation and discusses only the most common types. This article may be useful for an introduction to telescopes.

Keywords: telescope, image, aberration, lens, mirror, radiation, astroclimate, optical system, working principle

В 1450 году зародилась идея создания телескопа. Томас Диггенс пытался создать инструмент, состоящий из линзы и зеркала, позволяющий лучше рассмотреть звезды. Однако ему не удалось довести свой прототип до конца. В 1509 году Леонардо да Винчи создал первые чертежи линзового телескопа. Но официально история создания телескопа начинается с попытки Ханса Липперсгея в 1608 году получить патент на своё изобретение. К сожалению, патент был отклонён. Это вдохновило итальянского ученого Галилео Галилея на создание полноценного рабочего телескопа в 1610 году. С помощью этого прибора было сделано мно-

го важных космических открытий, таких как особенности рельефа Луны, пятна на Солнце, спутники Юпитера и т.д. Это стало отправной точкой в развитии изучения космоса и улучшения телескопов, в частности. В наше время существуют следующие виды телескопов: оптические, инфракрасные, космические, радиотелескопы.

Оптический телескоп – устройство, собирающее и фокусирующее видимое электромагнитное излучение, с целью увеличить количество света, приходящего от небесного тела. Основными составляющими являются объектив и окуляр. Объектив – часть телескопа, отвечающая за увеличение. Окуляр же позволяет рассматривать изображение, формируемое объективом. Такие телескопы следует устанавливать в места с хорошим астроклиматом, то есть в места с большим количеством ясных дней и ночей, на высоте нескольких километров и со стабильной атмосферой. Оптические телескопы можно разделить на три типа: рефракторы, рефлекторы и катадиоптрические.

Рефрактор – один из самых старых видов телескопов. В основе его принципа работы лежит явление рефракции, то есть явление преломления света (рис. 1). С помощью линзового объектива создаётся действительное обратное изображение предмета в фокальной плоскости, и это изображение рассматривается в окуляре. По мере усовершенствования технических свойств рефракторы можно разделить на следующие виды: телескоп Галилея, телескоп Кеплера, ахромат, апохромат. Крупнейшим рефрактором в обсерваториях на сегодняшний день считается рефрактор Кларка, установленный в Йеркском университете в 1897 г. Современные рефракторы условно доступные (из-за стоимости) обладают улучшенными характеристиками и относятся к рефракторам-апохроматам.

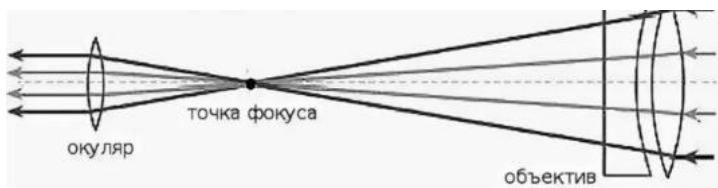


Рис. 1. Устройство рефрактора

В отличие от рефракторов, в рефлекторах лежит явление отражения света (рис. 2). Видимое излучение собирается вогнутым зеркалом и, благодаря этому, удаётся избавиться от значительной хроматической aberrации, возникающей в телескопах-рефракторах. Впервые такой телескоп изобрёл Исаак Ньютон. На данный момент существует множество других оптических систем рефлекторов, например система Кассегрена, Ричи-Кретьена, Гершеля, применяющихся в разных целях.

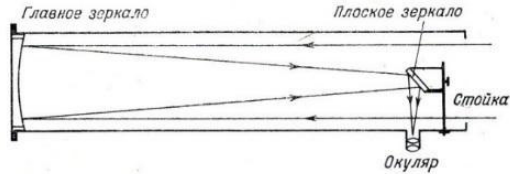


Рис. 2. Устройство рефлектора

Еще один тип оптических телескопов содержит в своей конструкции как отражающие, так и преломляющие элементы (рис. 3). Можно выделить две системы катадиоптрических телескопов: Шмидта-Кассегрена и Максутова-Кассегрена. В обеих системах были компенсированы такие аберрации, как сферическая, кома и астигматизм, но разными способами. В телескопе Шмидта-Кассегрена в центре зеркала установлена диафрагма, а в телескопе Максутова-Кассегрена расположен мениск большой кривизны.

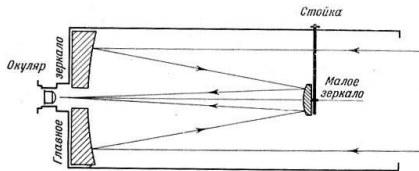


Рис. 3. Устройство катадиоптрического телескопа

Радиотелескоп – устройство, предназначенное для приёма собственного радиоизлучения небесных тел и исследования их характеристик. Как правило, такие телескопы располагают далеко от населённых пунктов, чтобы снизить электромагнитные помехи от различных излучающих устройств. Изображение с такого инструмента строится путём измерения энергии излучения исследуемого объекта, приходящей со стороны наблюдения. Как правило, для увеличения разрешающей способности радиотелескопов изменяют апертуру. Увеличение апертуры улучшает чувствительность телескопа. Также эту характеристику можно изменить благодаря увеличению собирающей поверхности и применением малошумящих приёмников.

Инфракрасный телескоп (рис. 4) применяется для изучения небесных тел в инфракрасном спектре. Интенсивность теплового излучения рассчитывается показателями силы тока и сопротивления. Если пропустить ток через полоску фольги, то, благодаря изменению температуры металла можно контролировать его сопротивление, а следовательно, контролировать силу тока. Чтобы телескоп фиксировал только нужное тепловое излучение, в нём используется криостат – устройство для получения и поддержания низкой температуры. Инфракрасные телескопы могут

использоваться только вне земной атмосферы, причиной этому является создание сильных помех.

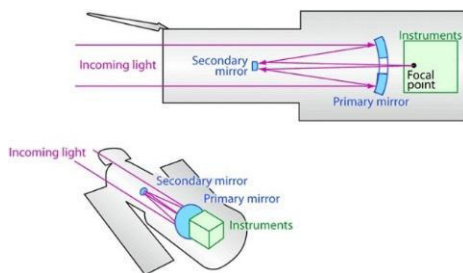


Рис. 4. Устройство инфракрасного телескопа

Существуют несколько факторов, влияющих на выбор места для наблюдения за небесными телами. Один из самых важных - наличие засветки неба от искусственных источников освещения. Вблизи городов, лишний свет, отражаясь от частиц пыли, попадает в объектив телескопа. Увидеть слабые объекты в таких местах невозможно. Также проводить наблюдения стоит на возвышенностях и местах с подходящими погодными условиями. Чем меньше слой атмосферы между телескопом и исследуемым объектом, тем выше стабильность получаемого изображения. Ещё одним фактором установки телескопа является стабильность атмосферы, а также ее низкая влажность. Тепловые потоки, воздушные массы и линзы, возникающие в атмосфере, смещают изображения в сторону от своего положения. Близким к идеальному месту установки телескопа явилась пустыня Атакама, Чили. В настоящее время ведется монтаж ELT (*Extremely Large Telescope*) с диаметром зеркала 32 м. Ввод в эксплуатацию планируется по разным источникам в 2024-2027 гг.

Космическое пространство является наилучшим местом для расположения всех видов телескопов. Любое изображение, полученное космическим телескопом, будет лучше, чем изображение, полученное с Земли. Также космические телескопы могут собирать и измерять диапазоны электромагнитного излучения, которые невозможно наблюдать из-за поглощения атмосферой Земли волн определенного диапазона. Рентгеновские, ультрафиолетовые, инфракрасные телескопы устанавливаются только в космосе.

В таблицах 1 и 2 представлены характеристики телескопов всех классов, рассмотренных в статье. Для сравнения показаны параметры первых телескопов в истории данного класса и параметры их современных представителей, используемые в обсерваториях.

Таблица 1. Характеристики оптических телескопов

Вид телескопа	Название	Диаметр апертуры, см	Фокусное расстояние, см	Разрешающая способность, I''	Проницающая сила, m
Рефрактор	Телескоп Галилея	4	50	3,5	10,11
	Телескоп Йерской обсерватории	102	$193 \cdot 10^2$	0,14	17,1
Рефлектор	Телескоп Ньютона	3	15,8	4,7	9,5
	Большой Канарский телескоп	1040	$170 \cdot 10^2$	0,01	22,2
Катадиоптрический	Телескоп Гамильтона	25	62,5	0,6	14,1
	Большой бинокулярный телескоп	840	960	0,02	21,7

Таблица 2. Характеристики радио- и инфракрасных телескопов

Вид телескопа	Название	Диаметр апертуры, м	Фокусное расстояние, м	Длина волны, м
Радиотелескоп	Радиотелескоп имени Б. Ловелла	76	22,9	$18 \cdot 10^{-2}$ — $6 \cdot 10^{-2}$
	Сферический телескоп FAST	500	140	4,28–0,1
Инфракрасный	IRAS	0,57	5,5	$12-100 \cdot 10^{-6}$
	James Webb	6,5 и 0,74	131,4	$0,6-28 \cdot 10^{-6}$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Телескоп // Википедия: [сайт]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Телескоп> (дата обращения: 26.02.2023).
2. *Навашина М.С.* Телескоп астронома-любителя. 4-е изд. М.: Наука, 1979. 440 с.
3. About The Hubble Space Telescope // nasa.gov [сайт]. URL: https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/about (дата обращения: 03.03.2023).
4. Webb Space Telescope // Webb.nasa.gov: [сайт]. URL: <https://webb.nasa.gov/> (дата обращения: 03.03.2023).
5. Взгляд в небеса // Элементы: [сайт]. URL: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/430896/Vzglyad_v_nebesa (дата обращения 17.03.2023)

СЕКЦИЯ «НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ»

УДК 621.86

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ РАБОТЫ КОНТЕЙНЕРНОГО КРАНА НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

М.М. Агейчева, С.Д. Иванов

Научный руководитель – **С.Д. Иванов**, канд. техн. наук, доцент

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Работа посвящена вопросам применения козловых кранов на контейнерных терминалах. Изучен опыт применения отечественных систем дистанционного мониторинга. Проанализирована применимость информации существующих систем дистанционного мониторинга для расчета эксплуатационных параметров крана.

Ключевые слова: козловой контейнерный кран, система дистанционного мониторинга, эксплуатационные параметры крана, цикл работы крана

CONTAINER CRANE INTENSITY ESTIMATION BASED ON REMOTE INFORMATION OF MONITORING SYSTEM PROCESSING

M.M. Ageycheva, S.D. Ivanov

Scientific Supervisor – **S.D. Ivanov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Bauman Moscow State Technical University

The study is devoted to the application of gantry cranes at container terminals. The experience in the use of domestic remote monitoring systems has been studied. The applicability of data from existing remote information of monitoring systems for the calculation of crane operating parameters has been analyzed.

Keywords: container gantry crane, remote monitoring system, crane operating parameters, crane operation cycle

Системы дистанционного мониторинга (СДМ) активно применяются в разных странах. Так, например, СДМ LiDAT компании Liebherr

позволяет фиксировать время и интервалы работы оборудования, ближайший срок сервисного обслуживания (<https://www.liebherr.com/>). СДМ TRUCONNECT компании Konecranes формирует информацию о фактическом использовании оборудования и предоставляет данные для технического обслуживания механизмов крана (<https://www.konecranes.com/>).

Системы дистанционного мониторинга отечественных компаний являются современным развитием приборов безопасности – регистраторов работы крана [1]. При использовании в составе контейнерных кранов позволяют удаленному пользователю в режиме реального времени получить информацию о более чем 60 параметрах (www.baltkran.ru/). Однако на сегодняшний день остаются не разработанными вопросы как формирования информационной базы СДМ, так и методик ее применения. Хотя существующие работы в этой области показывают большой потенциал использования информации СДМ как для решения вопросов поддержания работоспособного состояния грузоподъемной техники, так и повышения экономической эффективности работы складского комплекса в целом [2, 3].

В рамках настоящей работы была оценена применимость информации СДМ для расчета интенсивности работы [4] грузоподъемных кранов на контейнерном терминале. Были рассмотрены СДМ двух отечественных производителей Технорос и Балткран (<https://tehnoros.ru/>; www.baltkran.ru/). Первая позволяет получить информацию о количестве перегруженных контейнеров, потребляемой электроэнергии, фактическом режиме работы крана, режиме работы всех механизмов (рис. 1). Вторая СДМ дополнительно предоставляет данные о координатах каждого механизма на начало и конец рабочего цикла.

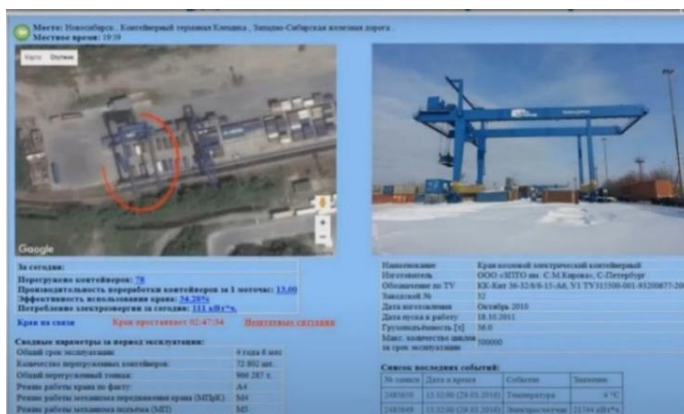


Рис.1. Данные систем дистанционного мониторинга (<https://tehnoros.ru/>)

Согласно ГОСТ 34017-2016 «Краны грузоподъемные. Классификация режимов работы» K_p – коэффициент распределения нагрузок для крана определяется, исходя из среднего числа циклов работы с частным уровнем массы груза – C_i , суммарного числа рабочих циклов со всеми грузами – C_T , значений массы номинального груза – P_{max} и масс отдельных грузов при типичном применении данного крана – P_i (1):

$$K_p = \sum \left[\frac{C_i}{C_T} \times \left(\frac{P_i}{P_{max}} \right)^3 \right], \quad (1)$$

K_m – коэффициент распределения нагрузок для механизма рассчитывается исходя, из средней продолжительности использования механизма – t_i , общей продолжительности использования механизма – t_T при частных уровнях нагрузки – H_i и значения наибольшей нагрузки – H_{max} (2):

$$K_m = \sum \left[\frac{t_i}{t_T} \times \left(\frac{H_i}{H_{max}} \right)^3 \right]. \quad (2)$$

На основе паспортных данных козлового крана была создана имитационная модель, рассчитывающая эксплуатационные параметры, аналогичные СДМ (рис. 2, табл. 1). Моделировали разгрузку контейнеров с железнодорожного состава на предварительно заполненную вероятностным методом площадку. Рассчитывали среднее время цикла работы крана, механизма передвижения крана, механизма передвижения тележки, механизма подъема.

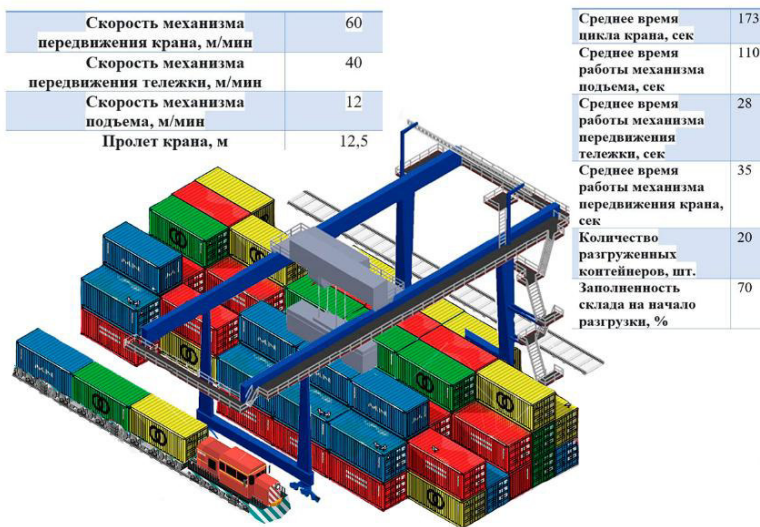


Рис. 2. Расчет имитационной модели крана

Таблица 1. Результаты расчетов

	Среднее время цикла крана, с	Среднее время работы механизмы подъема, с	Среднее время работы механизма передвижения тележки, с	Среднее время работы механизма передвижения крана, с
Данные модели	173	110	28	35
Данные СДМ	162	61	36	65
Δ, %	6,7	80	22,2	46,1

Результаты сравнения модели и данных СДМ показали, что среднее время работы механизма передвижения крана за цикл было больше теоретически найденного времени, а время работы механизма подъема за цикл - меньше.

Таким образом, предложенный метод обработки информации системы дистанционного мониторинга позволил связать грузооборот контейнерной площадки с параметрами интенсивности работы как крана в целом, так и его механизмов. Это определяет возможность не только понять, как эксплуатировался кран по обработанному грузопотоку, но и прогнозировать работу крана на конкретных контейнерных площадках на основе долгосрочных планов работы терминала.

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 // Всерос. науч.-практ. конф. «Цифровая экономика: технологии, управление, человеческий капитал» / МГТУ "СТАНКИН". М., 2019. С. 236-241.
2. *Ежов Ю.Е.* Пути повышения эффективности технического обслуживания промышленного перегрузочного оборудования / Ю.Е. Ежов, А.К. Бардин, В.А. Сидоренко // Вестник гос. ун-та морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2019. С. 113-120.
3. *Иванов С.Д.* Применение цифровых технологий для повышения эффективности промышленного предприятия / С.Д. Иванов, Л.В. Завальная // Сб. науч. тр. VIII междунар. конф. по контроллингу: контроллинг в экономике, организация производства и управления: цифровизация в экономике. 2019. С.124–128.
4. *Иванова Н.Ю.* Применение имитационной логистической модели складирования в целях повышения качества принятия управленческих решений на грузо-перерабатывающем предприятии / Н.Ю. Иванова, А.Н. Назаров, А.Р. Луткин, Л.В. Завальная // Устойчивое развитие и новая индустриализация: наука, экономика, образование: Материалы конф. М., 2021. С. 243–248.

УДК 621.878

СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМАЯ ПРОБЛЕМА РАЗВИТИЯ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ДЛЯ РОССИЙСКОЙ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

А.Ф. Вагабов

Научный руководитель – **Ж.А. Старостина**, канд. техн. наук,
доцент

Московский автомобильно-дорожный институт (МАДИ)

В данной статье рассматриваются проблемы развития промышленной продукции в России, его контроля и производства, а именно компонентной базы для дорожно-строительной техники. Определены области, в которых необходимо уделить особое внимание. Рассмотрена законодательная база содействия импортозамещению в России и ее регионах, представлен обзор законодательно закрепленных программ, концепций и планов развития импортозамещения в РФ. Определяются роли промышленного производства в реализации политики импортозамещения.

***Ключевые слова:** Компонентная база, импортозамещение, экономика, новые технологии, запасные части, конкуренция, машины.*

SOCIALLY SIGNIFICANT PROBLEM OF COMPONENT BASE DEVELOPMENT FOR RUSSIAN ROAD CONSTRUCTION EQUIPMENT

A.F. Vagabov

Scientific Supervisor – **Z.A. Starostina**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Moscow Automobile and Road Institute (MADI)

This article discusses the problems of the development of industrial products in Russia, its control and production, namely the component base for road construction equipment. The article identified areas in which special attention should be paid. The legislative base for promoting import substitution in Russia and its regions is considered, an overview of legislatively fixed programs, concepts and plans for the development of import substitution in the Russian Federation is presented. The roles of industrial production in the implementation of the import substitution policy are determined.

***Keywords:** Component base, import substitution, economy, new technologies, spare parts, competition, cars.*

Актуальность

Проблема развития компонентной базы строительных машин является актуальной в настоящее время, поскольку современные требования к строительству ставят перед производителями строительной техники все более высокие требования в отношении качества, надежности и эффективности работы оборудования. Развитие компонентной базы является одним из ключевых факторов, которые влияют не только на параметры техники, но и на экономику страны в целом.

Правительство Российской Федерации осуществляет модернизацию отечественной экономики через политику импортозамещения. Для эффективного применения инструментов и механизмов импортозамещения важно определить приоритеты и понять, какие подходы необходимо использовать для достижения поставленных целей.

Наибольшая доля импорта в настоящее время приходится на станкостроение, машиностроение и текстильную промышленность. В плане импортозамещения целесообразно обратиться к опыту политики локализации, которая создает новые рабочие места и производства на собственной территории, стимулирует развитие наукоемких производств, превращая отечественные компании в сильных конкурентов на глобальном уровне. Таким образом, промышленная политика должна быть направлена на развитие российской продукции с целью замещения импорта (импортозамещение) и, как следствие, увеличения объемов отечественной продукции (локализация производства).

В настоящее время Российская экономика находится в сложном положении. Этому способствуют как затянувшийся экономический кризис, так и политические разногласия между государствами. Европейский Союз и США применили против России пакет санкций, затем поэтапно добавлялись дополнительные санкционные ограничения, которые коснулись наиболее конкурентоспособных отраслей: станкостроения, радиоэлектронной промышленности, военно-промышленного комплекса. Как бы там ни было, санкции во многом подстегнули усилия российской промышленности по импортозамещению, хотя, конечно, привели к срыву реализации проектов, а где-то и к отказу от планов.

Важно иметь в виду, что в условиях санкционного режима доля импорта металлообрабатывающего оборудования из "недружественных стран", например, составляет 63,3% (60,8% рынка); доля импорта инструмента - 33,3% (30,4% рынка). Такая ситуация приводит к негативным последствиям с точки зрения технологической безопасности [1].

Цель данной статьи - представить наш взгляд на проблему обеспечения качества промышленной продукции в ряде производственных отраслей компонентной базы дорожно-строительной техники.

Современное состояние российского станкостроения и производства не дает оснований надеяться на вывод на рынок достаточного количества конкурентоспособных комплектующих машиностроения, во многих областях являющегося импортозамещающим. Из-за этого количественного и качественного отставания - на фоне стремительного развития станкостроения и вследствие этого и комплектующих в ведущих экономиках - российская станкостроительная промышленность постепенно теряет позиции, не выдерживая конкуренции с растущим импортом [2].

Развитие станкостроения имеет большое значение для обеспечения импортозамещения в различных отраслях экономики. Станкостроение является одной из основных отраслей машиностроения, которая занимается производством оборудования для обработки металла и других материалов, таких как станки для резки, сверления, фрезерования, токарные станки и т.д.

Одним из главных преимуществ развития станкостроения является возможность создания собственных производственных мощностей для производства оборудования, что позволяет сократить зависимость от импортных поставок. Это особенно актуально в условиях геополитической нестабильности и санкционных ограничений, когда поставки оборудования из-за границы могут быть затруднены.

Кроме того, развитие станкостроения может способствовать повышению конкурентоспособности российского производства за счет улучшения качества и снижения стоимости производимых изделий. Это в свою очередь может привести к увеличению экспорта продукции и повышению экономического роста.

Важно отметить, что развитие станкостроения необходимо совершенствовать совместно с другими отраслями, например, с производством легкой и тяжелой промышленности, чтобы обеспечить интеграцию производственных процессов и создать полный цикл производства.

В целом, развитие станкостроения является важным фактором для обеспечения импортозамещения и укрепления экономической независимости России, а также для повышения конкурентоспособности на мировых рынках.

Развитие электроники является одним из ключевых факторов для совершенствования и улучшения современных строительных машин. Современные строительные машины все больше и больше становятся компьютеризованными и оснащены различными электронными устройствами и системами управления, которые позволяют повысить их производительность, эффективность и безопасность.

Применение электроники и ИТ-технологий в строительной установке позволяет создавать более привлекательные машины с повышенной заботой о работе и управлении. В частности, автоматические системы

управления и контроля позволяют оперативно оценивать работу машин, диагностировать происшествия и проводить предупредительный ремонт. Это позволяет сократить время простоя и расходы на ремонт и обслуживание машин.

Кроме того, развитие электроники и ИТ-технологий отличается от других строительных машин и оборудования, которые ранее не были доступны на рынке. Например, с использованием дополненной реальности можно создавать тренажеры для операционных машин, что позволяет снизить затраты на обучение и повысить квалификацию персонала [3].

Развитие электроники и ИТ-технологий также позволяет решать проблемы, связанные с импортозамещением. Например, производство отечественных производителей импортных машин и оборудования с использованием отечественных электронных компонентов позволяет снизить затраты на производство и увеличить эффективность отечественных производителей.

В целом, развитие электроники и ИТ-технологий является важным фактором для обеспечения импортозамещения в строительной технике. Необходимо продолжать инвестировать в исследования и разработку в этой области, создавать все более совершенные и эффективные отечественные машины и оборудования.

Развитие двигателестроения является одним из возможных направлений использования импортозамещения в строительной технике. Современные двигатели, обладающие передовыми технологиями, позволяют создавать более экологически чистые и безопасные машины.

Важность развития двигателестроения для быстрого импортозамещения может привести к тому, что импортные двигатели часто не учитывают требования экологической безопасности и менее эффективно работают. Разработка и производство двигателей, специально подобранных для работы в российских условиях, может значительно повысить эффективность отечественной строительной техники на рынке.

Среди основных вопросов развития двигателестроения можно выделить:

1. Создание эффективных и экологически чистых двигателей, которые могут работать на различных видах топлива (например, на биотопливе или газе).
2. Использование передовых технологий, таких как электрические двигатели или микробные системы, которые значительно снижают потребление топлива и снижают уровень вредных выбросов в рост.
3. Создание двигателей, которые могут работать в условиях температурных и других опасных условий.

4. Развитие систем мониторинга и диагностики, которые позволяют оперативно обнаруживать и производить ремонт двигателей до их поломки.

Важно отметить, что развитие и производство требуют значительных инвестиций в исследования и разработку, а также высокую квалификацию специалистов. Однако при успешной реализации проектов, Россия может значительно снизить зависимость от импортируемых производителей и повысить эффективность своей строительной техники на мировом рынке.

Законодательная база содействия импортозамещению в России включает ряд федеральных законов, нормативных актов и программ, направленных на развитие отечественного производства и замещение импортных товаров на российском рынке.

Один из ключевых законов, направленных на содействие импортозамещению, – это Федеральный закон от 31.07.2014 № 219-ФЗ "О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц". Закон устанавливает требования к закупкам товаров, работ, услуг, осуществляемым государственными и муниципальными заказчиками, в том числе обязательство предпочтения отечественных товаров и услуг в случае их равнозначности с импортными [4].

Также в России существует программа "Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности", основным направлением которой является содействие импортозамещению в различных отраслях экономики, включая строительство.

Отдельные отрасли могут иметь свои законодательные акты, направленные на содействие импортозамещению. Например, в отрасли сельского хозяйства действует программа "Развитие животноводства", в рамках которой предусмотрены меры по поддержке отечественного производства мяса и молока.

В целом, законодательная база содействия импортозамещению в России постоянно совершенствуется и дополняется новыми нормативными актами. Однако, помимо законов и программ, не менее важным фактором является наличие поддержки и мотивации у бизнеса и инвесторов для внедрения новых производственных технологий, разработки новых продуктов и замещения импортных аналогов на отечественные.

Рассмотрим экономическое чудо Китая и возможность применения этой стратегии в России. Экономическое чудо Китая – это удивительное экономическое развитие страны за последние десятилетия, которое позволило Китаю стать одной из крупнейших экономик мира. Несмотря на то, что Китай начал свое экономическое развитие с низков, сегодня он обладает сильной экономикой и высоким уровнем производительности.

Одним из ключевых факторов успеха экономического развития Китая является инфраструктура. Страна вложила много средств в строительство дорог, мостов, аэропортов, железных дорог и других объектов, что способствовало росту производства и экономическому развитию. Также Китай активно привлекал инвестиции из-за рубежа и поддерживал экспорт, что способствовало развитию своей экономики.

Другим важным фактором успеха Китая является его дешевая рабочая сила. Снижение затрат на производство сделало экономику Китая конкурентоспособной на мировом рынке, что привело к тому, что многие зарубежные компании открыли свои производства в Китае.

Однако использование опыта Китая для развития экономики России может быть ограничено. В отличие от Китая, Россия является страной с более развитой экономикой и сильной инфраструктурой. Кроме того, Россия имеет свои уникальные особенности и основные отрасли экономики, такие как нефтегазовая промышленность, добыча и переработка ресурсов и другие.

Тем не менее Россия может изучать и использовать опыт Китая в области развития инфраструктуры, привлечения иностранных инвестиций, поддержки экспорта и создания конкурентоспособных отечественных производственных предприятий. Важно также учитывать особенности российского рынка и отраслей экономики при разработке мер по стимулированию экономического роста и развития.

Заключение

Проблема импортозамещения компонентной базы в России остается актуальной и требует серьезного внимания со стороны государства и бизнеса. В условиях глобальной конкуренции и изменений на мировых рынках, необходимо продвижение отечественного производства, а также поддержка и развитие инновационных и научных исследований в данной области.

Одной из основных проблем является зависимость от импорта компонентов и оборудования, что снижает конкурентоспособность отечественной продукции и затрудняет ее продвижение на рынке. Для решения этой проблемы необходимо создание сильной компонентной базы, основанной на использовании современных технологий и инноваций. Кроме того, необходимо развитие производства местных компонентов, а также сотрудничество с зарубежными партнерами.

При этом для эффективного развития отечественного производства необходима поддержка со стороны государства. Решающую роль играют налоговые льготы, субсидии, государственные программы развития, а также создание благоприятной инвестиционной среды. Страна богата энергией, а каждое изделие, произведенное на заводе, является сгустком

энергии, продавая ее производителям за себестоимость можно повысить производство.

В целом, проблема импортозамещения компонентной базы в России является сложной и многогранной. Однако успешное решение этой проблемы позволит России стать более конкурентоспособной на мировых рынках и обеспечить устойчивое экономическое развитие страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Попов А.С.* Развитие дорожно-строительной отрасли в России: проблемы и перспективы, 2019 г. С. 9.
2. Григорьев А.В. Развитие компонентной базы для отечественной дорожно-строительной техники // Техника и технологии дорожного строительства. 2018. № 3. С. 12-15.
3. Пути повышения эффективности производства. С. 5-59. URL: https://www.profiz.ru/peo/7_2019/effektivnost_proizvodstva/
4. Федеральный закон от 18.07.2011 № 223-ФЗ (ред. от 05.12.2022) "О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц". URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116964/a3b63487ad7d07ce045a07b0f1e7a9d9b064de95/

УДК 620.1-1/-9

СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ЭКСКАВАЦИИ ГРУНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ

Д.В. Деревцов, Р.М. Авдеев, В.И. Емелин, Д.С. Игнатьев

Научный руководитель – **Р.М. Авдеев**, канд. техн. наук, доцент

Сибирский федеральный университет

Рассмотрены способы разрушения грунта с использованием вакуумной установки. Сформулированы основные требования к стенду. Предложена конструкция стенд для изучения экскавации грунта с использованием вакуумной установки. Описан принцип действия стенда. Перечислены основные параметры планируемые получить на данной установке.

Ключевые слова: *стенд для изучения экскавации грунта, вакуумная экскавация грунта, рабочий орган, механический способ разрушения грунта*

A STAND FOR STUDYING THE PROCESS OF EXCAVATING SOIL USING A VACUUM INSTALLATION

D. V. Derevtsov, R.M. Avdeev, V.I. Emelin, D.S. Ignatiev

Scientific Supervisor – **R.M. Avdeev**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Siberian Federal University

Methods of soil destruction using a vacuum installation are considered. The basic requirements for the stand are formulated. The design of a stand for studying the excavation of soil using a vacuum installation is proposed and the principle of operation of the stand is described. The main parameters planned to be obtained on this installation are listed.

Keywords: *stand for the study of soil excavation, vacuum excavation of soil, working body, mechanical method of soil destruction*

В последнее время в России и за рубежом увеличиваются объемы работ с использованием вакуумного способа разработки грунта - технология мягкой экскавации. Данный способ нашел применение в таких отраслях промышленности как: горнодобывающая, строительная и коммунальное хозяйство [1].

На вакуумных экскавационных машинах применяется три основных вида разрушения грунта: механический, гидравлический, пневматический, которые могут между собой комбинироваться. У каждого способа есть свои достоинства и недостатки, если гидравлический и пневматический способы могут зависеть от погодных условий и может произойти отказ в зимний период времени, то механический способ можно применять круглогодично, но при использовании он может нанести вред подземным коммуникациям.

При проведении работы по данной теме появилась необходимость в создании стенда для изучения в лабораторных условиях воздействия механических рабочих органов на грунт с использованием вакуумной установки. Были сформулированы следующие требования к стенду: габаритные размеры – 2 метра длина, 1 метр ширина, 1 метр высота; питание от сети 220 В; возможность применения простейших вакуумных установок (промышленный пылесос, компрессор и др.); возможность быстрой замены рабочих органов; возможность применения грунтов с разными параметрами; низкая стоимость комплектующих; простота изготовления и эксплуатация.

В результате выполнения поставленных требований был спроектирован стенд для изучения экскавации грунта с применением вакуумной установки (рис.1).

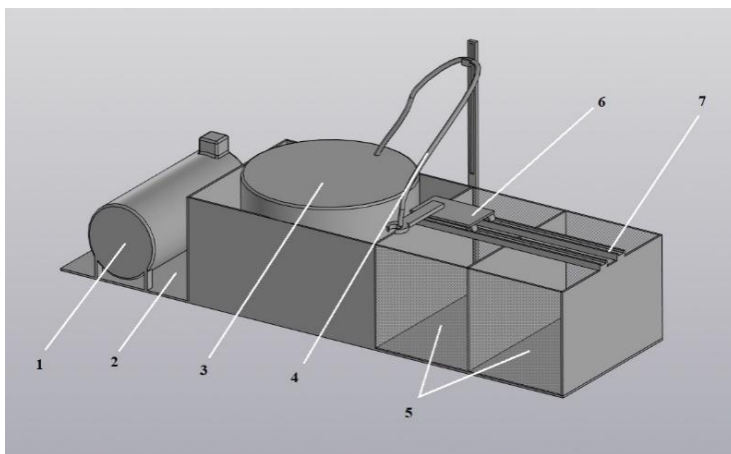


Рис. 1. Стенд для изучения экскавации грунта с применением вакуумной установки:

- 1 – вакуумная установка; 2 – основание; 3 – контейнер для всасываемых материалов; 4 – всасывающий рукав; 5 – отсек для грунта; 6 – подвижная платформа с фиксатором всасывающего рукава; 7 – направляющие

Данный стенд представляет собой платформу, к которой крепится вакуумная установка, контейнер для всасываемых материалов, к которому присоединен всасывающий рукав, два отсека для загрузки изучаемого материала с прозрачной фронтальной стенкой, направляющие, по которым перемещается платформа с фиксатором

Принцип действия установки следующий: в отсеки для загрузки материалов засыпается образец грунтов, при необходимости производится их уплотнение; к одному из отсеков подводится всасывающий рукав с разрушающей насадкой, закрепленный фиксатором; подается питание на вакуумную установку, которая создает необходимое разрежение воздуха; производится отпускание разрушающей насадки на необходимую глубину, срезанный грунт попадает в контейнер; отключается вакуумная установка; замеряются и фиксируются полученные данные, которые заносят в подготовленную таблицу.

В ходе изучения экскавации грунта с применением вакуумной установки в таблицу заносятся следующие параметры, зависит от использованных материалов и дополнительных вспомогательных устройств: вид грунта; время извлечения изучаемого материала; разрежение воздуха, контролируется с помощью манометра; глубину извлекаемого материала, она устанавливается постоянной или показания снимают с помощью измерительных приборов; объем извлекаемого материал; воздействие дополнительной силы на разрушающий орган; вид режущей кромки разрушающей насадки.

Применение предлагаемого стенда позволяет оценить влияние угла заточки, форму, радиус скругления разрушающего рабочего органа на объемы извлекаемого грунта, на затраченное время при проведении работ и в дальнейшем позволит в модернизации разрушающего рабочего органа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баловнев В.И.* Многоцелевые дорожно-строительные и технологические машины: Учеб. пособие для вузов по дисциплине «Дорожные машины». 2-е изд. Омск–М.: ОАО «Омский дом печати», 2006. 320 с.
2. Основные средства. Пылесос вместо ковша. URL: <https://os1.ru/article/4314-vakuumnye-ekskovatory-pylesos-vmesto-kovsha>.

УДК 625.08

РОБОТОТЕХНИКА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Я.С. Ерохин, Н.В. Симатов, Б.А. Хайруллин, Н.Г. Макаренко

Научный руководитель – **Н.Г. Макаренко**, канд. техн. наук

Военный инновационный технополис «ЭРА»

Повышение качества и увеличение сроков безопасной эксплуатации и дорожного покрытия является важной государственной задачей как для дорожных строителей, так и для пользователей всех категорий. В статье рассматривается вопрос возможного применения робототехники в дорожном строительстве с целью повышения качества строительства автомобильных дорог.

Ключевые слова: робототехника, роботизация, качество, дорожное покрытие, эффективность, дорожное строительство.

ROBOTICS IN ROAD CONSTRUCTION

Y.S. Erokhin, N.V. Simatov, B.A. Khayrullin, N.G. Makarenko

Scientific Supervisor – **N.G. Makarenko**, Candidate of Technical Sciences

Military Innovative Technopolis «ERA»

Improving the quality and increasing the periods of safe operation and road pavement is an important state task, both for road builders and for users of all categories. The article discusses the possible use of robotics in road construction to improve the quality of road construction.

Keywords: robotics, robotization, quality, pavement, tasks, efficiency, road construction

Робототехника является новым и прогрессивно развивающимся научно-техническим направлением. Быстрое развитие данного направления происходит из-за необходимости изучения человеком новых сфер и освоения новых областей применения роботизации в технологических и производственных процессах. Также еще одним фактором развития данного научного направления является тот факт, что оно позволяет повысить эффективность практически любого вида деятельности человека, в котором робот может его технически и интеллектуально заменить [1].

Таким образом, робототехника затронула многие сферы деятельности человека и в том числе дорожно-строительную отрасль.

В нашей стране проблема нехватки качественных дорог выражена очень сильно и, не замечать этого уже нельзя, т.к. 70% твердых покрытий автомобильных дорог РФ нуждается в скорейшем ремонте [2]. Если эта проблема не будет решена в самые ближайшие годы, то, как следствие, появятся другие проблемы, такие как:

- 1) снижение объема грузоперевозок автомобильным транспортом.
- 2) повреждение транспортных средств.
- 3) снижение безопасности дорожной сети и увеличение аварийных ситуаций на дорогах и т.д.

Во избежание перечисленных проблем требуется повысить не только качество укладки дорожных покрытий, но и качество строительства дорожной одежды в целом. Поэтому применение робототехники является хорошей перспективой в развитии дорожного строительства. Качество выполняемых роботами работ намного выше, чем у работ, выполняемых человеком. Роботы работают быстрее, точнее, без перерывов и при этом не устают. Уже сегодня есть примеры успешного применения роботов в строительстве и проверке качества дорог. С каждым годом доля роботизации в дорожном строительстве будет увеличиваться, что, несомненно, повысит качество работ и во много раз облегчит тяжелый труд человека. Это, в свою очередь, позволит ускорить процесс строительства новых дорог, быстрее и качественнее ремонтировать старые дороги, и делать их более потоконасыщенными и безопасными в эксплуатации.

Минипогрузчик Bobcat T300 (Bobcat Company, США) (рис. 1) является самой габаритной и мощной моделью всей линейки гусеничных машин данной компании. Он незаменим при проведении работ различного профиля (строительные, дорожный ремонт, снос, ландшафтные, лесное и сельское хозяйство, озеленение, уборочные работы). Также он выгодно отличается высокими техническими и производственными показателями проходимости, маневренности, устойчивости и грузоподъемности.

Строительный робот Built Robotics ATL-74R (Built Robotics, США) (рис. 2). На его крыше размещен автомобильный багажник, защищающий электронику, обеспечивающую роботу автономность - мозги робота. Робот легко ориентируется на стройплощадке, опираясь на показания ударопрочного лидара, адаптированного к работе в условиях сильной вибрации. Трактор полностью автономен: машина необходима только координаты точки старта, данные о размерах площадки, которую требуется выровнять, и подтверждение человека, чтобы приступить к работе.



Рис. 1. BobCat T300



Рис. 2. Built Robotics ATL-74R

Специальные роботы, предназначенные для дорожно-строительной отрасли, требуют повышения эффективности их применения на базе научно-технического прогресса, широкого развития механизации и автоматизации технологических процессов. К примеру, робот Robotic Cable Inspection System определяет информацию о положении и состоянии скрытых (подземных) кабелей способами исследования его поверхности с помощью трёх сенсоров: теплового, звукового и визуального. Инженеры могут контролировать работу робота с помощью беспроводного интерфейса и наблюдать за происходящим через небольшую видеокамеру [3].

Все применяемые роботы существенно облегчили человеческий труд в области дорожного строительства. Но на сегодняшний день нельзя сказать о массовом их применении в дорожно-строительной отрасли. В нашей стране роботы пока широко используются только в космической и военной сферах, то есть в тех сферах, где они изначально получили свой основной толчок в развитии.

Что же касается развития строительных роботов в нашей стране в целом, то в этом направлении наша страна пока отстает от ведущих экономик мира. Если подойти к рассматриваемому вопросу более принципиально, то в дорожном строительстве робототехника в России применяется очень мало. Такое положение дел является нежелательным показателем для страны. Ведь по логике именно в нашей стране роботизация и должна

развиваться по причине огромной протяженности наших дорог. Их обслуживание является тяжелой и затратной задачей. Развитие и внедрение и робототехнических устройств в дорожностроительствосделало бы решение перечисленных задач намного легче и эффективнее.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что роботизация дорожно-строительной отрасли является актуальной задачей, требующей эффективного решения в кратчайшие сроки. Задачи, поставленные Президентом РФ прорыва в экономике, не могут быть решены без создания дорожной сети автомобильных дорог отвечающим самым высоким современным требованиям. Создание такой сети в свою очередь требует выполнения огромного объема дорожно-строительных работ в очень сжатые сроки. В такой ситуации разработка и внедрение в дорожно-строительную отрасль роботов дорожно-строительного назначения могли бы значительно повысить эффективность и качество выполняемых работ и ускорить создание требуемой сети автомобильных дорог на уровне западных стран, Китая и США.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казагачев В.Н.* Введение понятия «робот» и «робототехника» в образовании / В.Н. Казагачев, А.А. Гулюта // Аспирант и соискатель. 2015. № 4. С. 45–47.
2. *Габдуллин Т.Р.* Новые технологии строительства дорог в России // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. Т.1. С. 109-113.
3. *Габдуллин Т.Р.* Повышение производительности систем управления дорожно-строительной техникой при использовании систем глобального спутникового позиционирования / Т.Р. Габдуллин, Р.В. Загреддинов // Известия КГАСУ. 2014. № 4 (26). С. 397-402.

УДК 621.86

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ КОНТЕЙНЕРОВ НА ТЕРМИНАЛЕ

А.С. Лизунов, С.Д. Иванов

Научный руководитель – **С.Д. Иванов**, канд. техн. наук, доцент

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Работа посвящено разработке универсальной имитационной модели для определения организационно-экономических параметров работы контейнерного терминала. Модель позволяет на основе параметров площадки хранения, технологического оборудования и стратегии заполнения склада вычислять параметры эффективности работы терминала.

***Ключевые слова:** контейнерный терминал, козловой контейнерный кран, имитационное моделирование, эксплуатационные параметры крана*

DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL FOR CONTAINER PLACEMENT AT THE TERMINAL

A.S. Lizunov, S.D. Ivanov

Scientific Supervisor – **S.D. Ivanov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Bauman Moscow State Technical University

The work is devoted to the development of a universal simulation model for determining the organizational and economic parameters of the container terminal. The model makes it possible to calculate the parameters of the terminal's efficiency based on the parameters of the storage site, technological equipment and the warehouse filling strategy.

***Keywords:** container terminal, gantry container crane, simulation modeling, crane operating parameters*

Вследствие роста контейнерных перевозок возникает необходимость оптимизации контейнерных складов для увеличения пропускной способности [1-3].

Целью работы является разработка универсального программного модуля работы контейнерного терминала для определения организационно-экономических параметров.

Анализ опыта организаций, эксплуатирующих контейнерные терминалы, показывает, что каждая площадка делится на секторы. Их объединяют в участки (по отправлению, прибытию и т. п.) [4].

Последовательность прибытия и отребования контейнеров с терминала имеет случайный характер – First In/Random Out (FIRO) [4]. В связи с этим при организации структуры контейнерного терминала и управления операциями в нем используются методики, основанные на эвристическом подходе. Именно вследствие данной особенности контейнерных терминалов невозможно заранее выбрать стратегию складирования, которая будет оптимальна для работы данного терминала.

Разработана модель склада (рис. 1), ряд параметров которой являются жестко заданными: размеры контейнеров, количество контейнеров, которые можно разместить на площадке, геометрические параметры площадки. Так как конфигурация склада подразумевает хранение рядами, в программу можно загружать параметры контейнера, который возможно поставить только в определенный ряд (20 футов, 40 футов, 45 футов) или определенный блок, по производителям или направлениям. Эти параметры в модели являются варьируемыми.

Вероятностными параметрами являются распределение контейнеров в зависимости от требуемого коэффициента заполнения площадки хранения, а также заполнение поезда разными размерами контейнеров. Это распределение для данной модели принято равновероятностным.

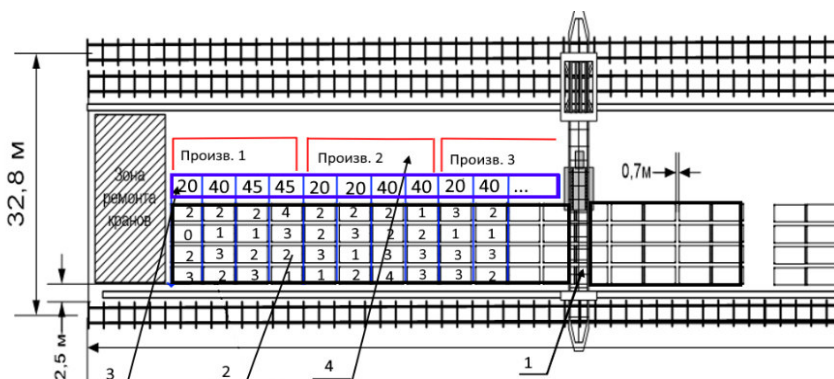


Рис. 1. Основные параметры модели склада:

- 1 – козловой контейнерный кран; 2 – количество контейнеров в данном ряду по высоте; 3 – обозначение для ряда с определенным типом контейнеров; 4 – разделение по производителям

Для отладки модели были реализованы две стратегии заполнения контейнерной площадки. Одна из них заключается в размещении контей-

неров по ярусам (шесть контейнеров в первый ярус, затем шесть во второй и четыре контейнера в третий ярус) (рис. 2, а). Другая стратегия подразумевает разгрузку поездов последовательно в ряд. (рис. 2, б).

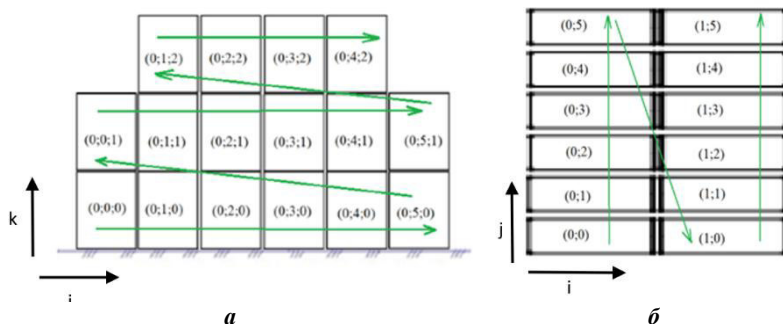


Рис. 2. Иллюстрация стратегий заполнения контейнерной площадки:

i – количество контейнеров в ряду; j – контейнеров в ярусе; k – контейнеров в высоту; a – разгрузка по ярусам; b – разгрузка по рядам

Третья стратегия заключается в поиске маршрута с наименьшим временем обработки единицы груза. Последовательность операций:

- 1) определение времени движения крана до каждой ячейки;
- 2) определение времени транспортировки до конечного места;
- 3) определение маршрута по критерию минимального общего времени.

Модель была настроена для определенного терминала. Характерный для данного терминала процент заполнения площадки составляет 70%, её длина – 25 контейнеров, длина площадки – 25, ширина – 5 контейнеров, ярусов – 2 для крайних рядов, 3 для остальных. Технические характеристики технологического оборудования, контейнерного козлового крана, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики козлового крана

Параметр	Значение
Скорость механизма передвижения крана, м/мин	60
Скорость механизма передвижения тележки, м/мин	40
Скорость механизма подъема, м/мин	12
Пролет, м	12,5

В результате моделирования для данной площадки складирования рассчитаны основные показатели эффективности: среднее время цикла составило 187 с, пропускная способность – 8.5 контейнеров в час, грузопоток – 1356 тонн в день.

Таким образом, получена возможность путем подстановки приведенных в статье параметров площадки хранения и технологического оборудования, а также конкретных стратегий складирования, определять показатели эффективности работы терминала. Показана перспектива использования представленной имитационной модели для анализа применимости различных стратегий работы терминала, на основе которого возможно выработать практические рекомендации по корректировке принятой стратегии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов А.Л. Влияние каргоплана судна-контейнеровоза на складские операции терминала / А.Л. Кузнецов, А.Д. Семенов, Н. Оја // Вестник гос. ун-та морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2021. Т. 13(2). С. 157-168.
2. Ларин А.Н. Обработка контейнеров и тарно-штучных грузов на железной дороге / А.Н. Ларин, К.С. Петрова // Актуальные проблемы современной экономики: Материалы X междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1. Омск, 31 мая 2022 года. Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения, 2022. С. 270-280.
3. 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 конф. Москва, 18 июня 2021 года. М.: Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана (национальный исслед. ун-ет), 2021. С. 243-248.
4. Кузнецов А.Л. Анализ оптимизационных стратегий складирования контейнеров / А.Л. Кузнецов, А.Д. Семенов, А.З. Борович // Вестник гос. ун-та морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2019. Т. 11, № 5. С. 803-812. DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-5-803-812.
5. Поспелов А.М. Организация работы контейнерного терминала: учеб.-метод. рекомендации. Екатеринбург: УрГУПС, 2017. 54 с.

УДК 692.66

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПАССАЖИРСКИХ ПОДЪЕМНИКОВ НА ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

В.Д. Парыгина

Научный руководитель – **С.А. Соколов**, д-р техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Исследована зависимость производительности лифта заданной высоты от вместимости кабины и скорости подъема. Для этого выполнено определение времени, необходимого для прохода людей через двери в различных ситуациях.

Ключевые слова: пассажирский лифт, производительность, вместимость кабины

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF PASSENGER LIFT PARAMETERS ON THEIR PERFORMANCE

V.D. Parygina

Scientific Supervisor – **S.A. Sokolov**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

The dependence of the elevator performance of a given height on the cabin capacity and lifting speed is investigated. To do this, the time required for people to pass through the doors in various situations has been determined.

Keywords: passenger elevator, performance, cabin capacity

Пассажирские лифты широко используются во многих областях для вертикальной транспортировки людей и багажа. Стационарные лифты обеспечивают перемещение людей в жилых домах и общественных помещениях. Специальные лифты используются для перемещения персонала в шахтах, подъема людей на ракетные стартовые комплексы, строящиеся суда и строительные сооружения. В большинстве случаев основным целевым параметром лифта или лифтовой системы является производительность. Исходя из этого параметра, выбираются вместимость и скорость перемещения кабины [1].

В данной работе исследуется зависимость производительности лифта заданной высоты от вместимости кабины и скорости подъема. Немаловажным фактором эффективности лифта является также его стоимость, которая существенно зависит от скорости подъема, грузоподъемности, комплектации механизмов, отделки кабины и шахты. Детальный учет экономических факторов выходит за рамки данного исследования. В настоящей работе косвенно это учтено тем, что для ординарных лифтов высотой до 30 м принята скорость подъема 1–2 м/с, а для лифтов высотой от 40 до 500 м используются скорости 2–10 м/с [2].

Производительностью пассажирского лифта называется количество пассажиров, транспортируемых лифтом в одном направлении за 1 час. Она вычисляется как

$$P_{\text{пас}} = \frac{3600 n_{\text{пас}} \varphi}{\frac{2H}{V} + \sum t}, \quad (1)$$

где $n_{\text{пас}}$ – номинальная расчетная вместимость кабины, чел,

$$n_{\text{пас}} = \frac{Q}{m_p}, \quad (2)$$

m_p – расчетная масса одного пассажира, $m_p = 80$ кг;

φ – коэффициент заполнения кабины, $\varphi = 0,6-0,7$ – для жилых зданий, $\varphi = 0,8$ – для разгрузки лайнера;

$\sum t$ – время, затрачиваемое на загрузку и разгрузку кабины.

Величина $\sum t$ вычисляется как сумма

$$\sum t = t_1 + t_2 + t_3, \quad (3)$$

где t_1 – время на открывание и закрывание двери,

t_2 – время входа в кабину и выхода пассажиров из кабины,

t_3 – паузы, связанные с управлением лифтом в течение цикла работы, принимаем $t_3 = 5$ с.

В данной работе исследовано время, необходимое для входа людей в помещение через дверь определенной ширины. Для этого выполнена серия наблюдений, в процессе которых измерялось время t_2 .

Из наблюдений определялось время, необходимое для прохода людей через двери в различных ситуациях (рис. 1):

а) вход в вагон метро при дверном проеме 1400 мм;

б) вход в неограниченное помещение при дверном проеме шириной 680 мм;

в) вход в ограниченное помещение при дверном проеме шириной 680 мм. В этом случае размер помещения изменялся в зависимости от количества людей согласно ГОСТ 53770-2010 [3].

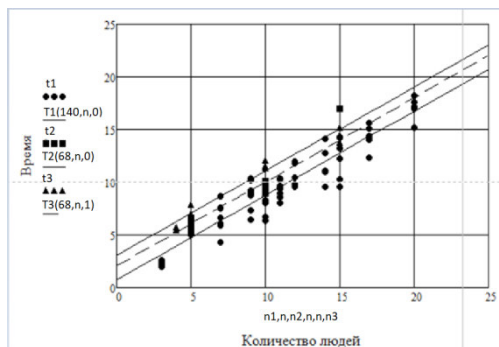


Рис. 1. Зависимость времени, необходимого для прохода определенного количества людей через дверной проем в разных ситуациях: ●, ■, ▲ – соответственно, ситуации «а», «б» и «в»

Методом отыскания параметров уравнения выборочной линейной регрессии для каждого варианта наблюдений были получены аппроксимирующие зависимости [4] (рис. 2-4). В результате обобщение этих выражений получена формула, позволяющая оценить время прохода заданного количества людей в зависимости от ширины и условий прохода.

$$\sum t(B, n, q) = \frac{70}{B-45} + 0,8 \cdot n - q, \quad (4)$$

где B – ширина прохода, см;

n – номинальная расчетная вместимость кабины, чел.;

q – параметр, зависящий от помещения ($q=0$ – открытое помещение, $q=1$ – ограниченное помещение).

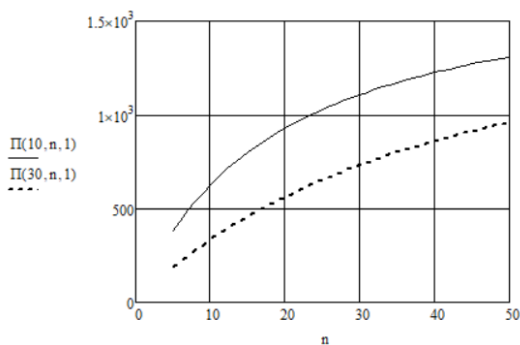


Рис. 2. Зависимость производительности от номинальной расчетной вместимости кабины при $h = 10$ и 30 м и $v = 1$ м/с

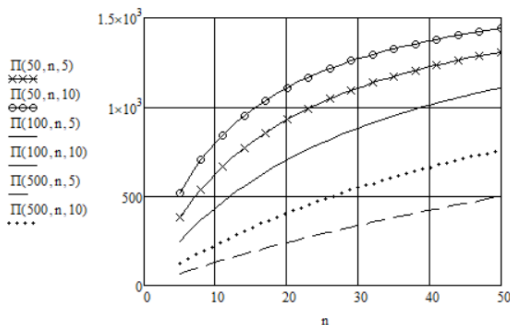


Рис. 3. Зависимость производительности от номинальной расчетной вместимости кабины при $h = 50, 100$ и 500 м и $v = 5$ и 10 м/с

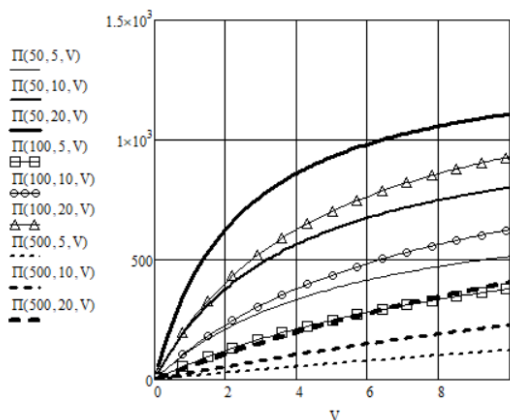


Рис. 4. Зависимость производительности от скорости подъема/опускания кабины при $h = 50, 100$ и 500 м и $n = 5, 10$ и 20 чел.

Это выражение дает среднюю оценку времени входа до 20 человек при ширине прохода от 650 до 1500 мм. Подставив это выражение в формулу (1) получим зависимость, которая позволяет прогнозировать изменение производительности подъемника заданной высоты от скорости подъема и вместимости кабины.

Выводы по результатам данной работы:

1. Зависимость производительности лифта от вместимости кабины не линейна. На лифтах малой высоты, до 50 м, увеличение вместимости кабины свыше 20–30 человек не целесообразно. Это повышает стоимость лифта, но мало влияет на производительность.

2. Повышение скорости подъема более 2 м/с и вместимости кабины более 10 человек целесообразно только на лифтах с высотой подъема более 100 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подъемники. Назначение и классификация подъемников. URL: https://studbooks.net/2445570/tehnika/podemniki_naznachenie_klassifikatsiya_podemnikov (дата обращения 07.03.2023).
2. Классификация лифтов. URL: <https://helpiks.org/7-42302.html> (дата обращения 07.03.2023).
3. ГОСТ 53770–2010. Лифты пассажирские. Основные параметры и размеры.
4. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. Изд. 4-е, доп. М.: Высш. школа, 1972. 368 с.

УДК 672

**МИРОВОЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ
ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

А.А. Польшин, А.Е. Грибеников, А.А. Тихонов, А.К. Мальцев

Научный руководитель - **Н.С. Любимый**, канд. техн. наук, доцент

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

Рассматривается технология 3D-печати инструментов из металла, развитие данной технологии и перспективы.

***Ключевые слова:** аддитивные технологии, 3D-печать, металлорежущие инструменты*

**WORLD EXPERIENCE IN USING ADDITIVE
TECHNOLOGIES IN THE MANUFACTURE
OF METAL-CUTTING TOOL ELEMENTS**

A.A. Polshin, A.E. Gribenikov, A.A. Tikhonov, A.K. Maltsev

Scientific Supervisor - **N.S. Lyubimy**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University

The technology of 3D printing of metal tools, the development of this technology and prospects are considered.

***Keywords:** additive technologies, 3D printing, metal cutting tools*

Технология 3D-печати возникла в конце 80-х годов прошлого века. В 1981 г. R.F. Housholder предложил метод формирования тонкого слоя порошкового материала путем нанесения его на плоскую платформу. В 1986 г. Charles W. Hull предложил способ послойного синтеза с помощью ультрафиолетового излучения, сфокусированного на тонкий слой фотополимерной смолы. Charles W. Hull стал основателем 3D Systems – компании, первой приступившей к коммерческой деятельности в области послойного синтеза. 3D Systems разработала первую коммерческую стереолитографическую машину – SLA – Stereolithography Apparatus.

В сегодняшний день 3D-печать металлом рассматривается, как одна из наиболее многообещающих технологий, что сможет поменять современные способы обрабатывания на металлорежущих станках. Современная металлургия уходит в 3D-формат и включает такие отрасли, как авиастроение, гражданское строительство и т. д. Аддитивное производство активно развивается, спектр материалов.

Обращаясь к статье «Аддитивные технологии как активный помощник в создании металлорежущих инструментов», можно узнать: в каких сфера используется 3D-печать, положительные стороны 3D-печати, процесс создания инструментов. 3D-технологии активно применяются при создании драгоценностей, в автоиндустрии, палеонтологии, архитектуре и дизайне, медицине и т. д.

Создание сборного металлорежущего инструмента отличается высокими финансовыми расходами. Но на сегодняшний день режущий инструмент со сменными твердосплавными пластинами считается широким шагом в будущее для машиностроительной сферы. Высококачественный инструмент дает возможность быстро окупить расходы на новое оборудование, существенно увеличить производительность старого оборудования и сделать работу наиболее результативной. Однако процесс создания и корректировки может занимать продолжительно время до момента достижения необходимого итога.

Основные инструментальные компании (Sandvik Coromant, Kennametal, CERATIZIT, Mitsubishi) стремительно используют дорогостоящие технологии (3D-принтер по металлу). Однако для создания новой конструкции сборного долбяка были обнаружены минусы (рис. 1). Впоследствии при помощи Компас-3D был спроектирован сборный долбяк со сменными режущими пластинами (рис. 2).

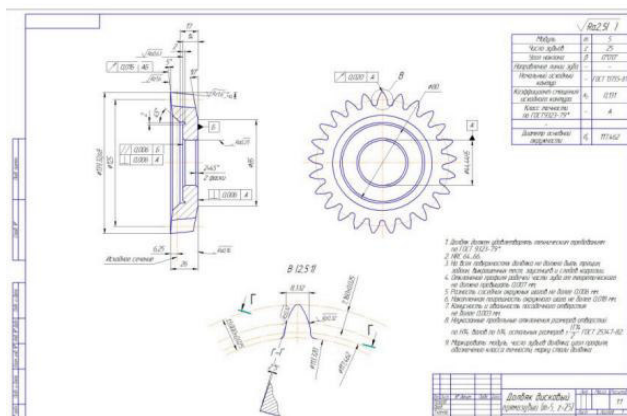


Рис. 1. Конструкция сборного долбяка

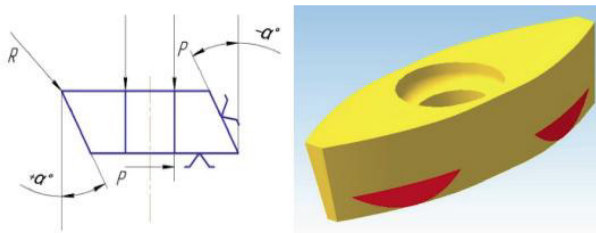


Рис. 2. Конструкция сменной режущей пластины

Затем при создании сборного металлорежущего долбяка на кафедре станков и инструментов Тюменского индустриального университета использовались аддитивные технологии. Согласно итогам измерений, стало известно то, что эвольвентный профиль, произведенный на 3D-принтере, отличается от профиля ГОСТ на 0,1 мм.

Подобным способом в процессе изучения было определено, что использование аддитивных технологий влечет за собой финансовую выгоду, уменьшает сроки производства и проверки.

Патент № 2690875 «Способ изготовления державки режущего инструмента» описывает этапы и способы изготовления. Выполнение державки состоит из трех слоев: опорного, промежуточного и верхнего, слои выполняют в виде макрослоев, которые получают в процессе аддитивной технологии в среде защитного газа путем последовательного наращивания слоев металлического порошка с контролируемой ориентацией зерен.

Было предложен способ производства, который повышает виброустойчивость режущего инструмента, увеличивает стойкость, улучшает качество поверхности и повышает точность деталей. Метод отличается тем, что в качестве защитного газа применяют аргон или азот и осуществляют изготовление державки режущего инструмента в виде державки резца.

Российская промышленность зависима от иностранных поставщиков, но создание российского 3D-принтера снизит затраты раза в три на приобретение оборудования. Способ универсальной печати сможет помочь сберечь финансовые ресурсы на покупку сырья и время на изготовление. Однако пока технология печати пока не считается на 100% универсальной.

Преимуществами 3D-печати является способность создания любой геометрии, дешевизна, эффективность, доступность, возможность создания каналов подачи СОЖ. Недостатками являются: продолжительная постобработка, значительная внутренняя пористость, прочность на 30% меньше, чем у ковального изделия.

В будущем обработка резанием будет не перспективна, 3D-печать не оставляет никаких отходов. На выходе можно получить деталь любой сложности, но более того, деталь может быть соединена из различных материалов, даже несовместимых друг с другом. В будущем можно будет печатать не просто деталь, а целое изделие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зленко М.А.* Аддитивные технологии в машиностроении: учебное пособие / М. А. Зленко, А. А. Попович, И. Н. Мутьлина. СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2013. 222 с.
2. *Довбыш В.М.* Аддитивные технологии и изделия из металла / В.М. Довбыш, П.В. Забеднов, М.А. Зленко. // nami.ru: [сайт]. URL: https://nami.ru/uploads/docs/centr_technology_docs/55a62fc89524bAT_metall.pdf (Дата обращения: 5.03.2023).
3. Аддитивные технологии как активный помощник в создании металлорежущего инструмента / Д.В. Васильев, В.В. Киреев, В.А. Зырянов, И.С. Золотухин // Транспорт и машиностроение Западной Сибири. 2018. №1. С. 45-53.
4. Патент № 2690875 Российская Федерация, МПК В23Р 15/28 (2006.01). Способ изготовления державки режущего инструмента: № 2018113619: заявл. 13.04.2018 : опубл. 06.06.2019 / В. В. Максаров, А. А. Гынтыров.
5. Технологии и системы управления металлообработывающей промышленности: [сайт]. 2016. URL: <https://www.plm.pw/2016/10/Additive-Manufacturing.html> (Дата обращения: 5.03.2023).
6. Станочный мир: [сайт]. 2017. URL: <https://stanok-kpo.ru/stati/3d-printer-budushchee-v-mashinostroenii.html> (Дата обращения: 5.03.2023).
7. Fabricators.ru: [сайт]. 2021. URL: <https://fabricators.ru/article/chto-ne-smogut-metallurgi-v-rossii-razrabotan-printer-kotoryu-pechataet-pochti-vsemi> (Дата обращения: 5.03.2023).
8. *Скосарев Г.С.* Влияние технологических параметров 3D-печати на качественные параметры изделия / Г.С. Скосарев, Н.С. Любимый // Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства: материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. (Ижевск, 28-29 апреля 2022 г.). Ижевск: Изд-во Ижевский гос. тех. ун-т, 2022. С. 182-184.
9. *Скосарев Г.С.* Методы улучшения качественных характеристик деталей, изготавливаемых методами 3D-печати / Г.С. Скосарев, Н.С. Любимый // Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства: материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. (Ижевск, 28-29 апреля 2022 г.). Ижевск: Изд-во Ижевский гос. тех. ун-т, 2022. С. 185-187.
10. Оценка экономической эффективности технологии изготовления композитных металл-металлополимерных деталей в сравнении с аддитивной и субтрактивной технологиями / Н.С. Любимый, А.А. Польшин, А.А. Тихонов, С.И. Анциферов, М.Д. Герасимов, Н.А. Мелентьев // Вестник Белгородского гос. технол. ун-та им. В. Г. Шухова. Серия: Машиностроение и машиноведение. 2022. №5. С. 91-105.

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ГУСЕНИЧНОГО 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 гусеничного шасси для возможности установки различного вида оборудования, как строительного, так и сельскохозяйственного назначения, а также эксплуатации в условиях бездорожья.

***Ключевые слова:** разработка, проектирование, гусеничное, шасси*

DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL TRACKED 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 tracked 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, tracked, chassis*

Гусеничная техника нашла широкое применение в лесозаготовительной, строительной, ресурсодобывающей, геологоразведывательной и других сферах деятельности.

Однако несмотря на конструктивную проработанность гусеничной техники, возможность установки различного вида оборудования ограничена определенным перечнем для каждой машины. На рис. 1 показан пример установки оборудования на трактор ДТ–75 (возможна установка только спереди и сзади).

Исходя из этого, можно сделать вывод, что технические средства подобного типа создают проблему установки широкого спектра оборудования.



Рис. 1. Оборудование для ДТ-75

С целью расширения перечня возможно используемого оборудования на одной единице техники разрабатывается проект универсального гусеничного шасси (УГШ) (рис. 2). В результате патентного поиска, подобных машин не было обнаружено. Поэтому при проектировании данная проблема была учтена изначально. Таким образом был заложен следующий перечень навесного оборудования:

- грузовой платформы,
- самосвального кузова,
- легкой экскаваторной установки,
- крана малой грузоподъемности,
- манипулятора,
- автовышки,
- буровой установки,
- лесозаготовительного оборудования,
- отвала,
- мотопомпы,
- фрезы,
- лебёдки,
- лёгкого прицепа,
- оборудование сельскохозяйственного назначения (роторная ко-силка, плуг, бороны разного вида, пресс-подборщик и т.д.).

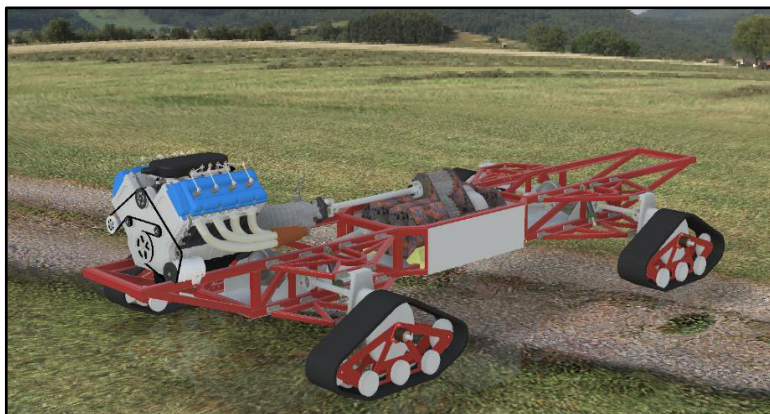


Рис. 2. Общий вид УГШ

Конструкция рамы позволяет устанавливать навесное оборудование с любой стороны шасси. На рис. 3 показана 3D-модель рамы универсального гусеничного шасси, спроектированная с помощью САПР.

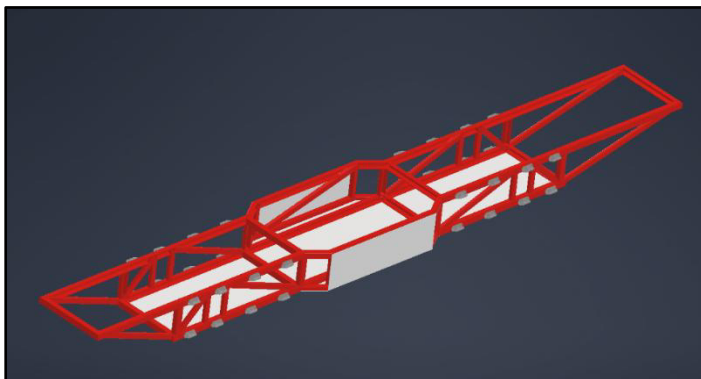


Рис. 3. 3D-модель рамы

При проектировании использовались легкодоступные и дешевые детали из металлопроката, а также комплектующие отечественного производства и автомобильной промышленности.

Применение гидравлической подвески (рис. 4) даёт возможность динамической регулировки дорожного просвета и угла наклона рамы в продольном и поперечном направлениях. Для этого предполагается использование электронной системы управления.



Рис. 4. Гидроцилиндр подвески

В конструкцию заложен механический привод (рис. 5) с системой бортового поворота, вследствие его надёжности и ремонтпригодности.

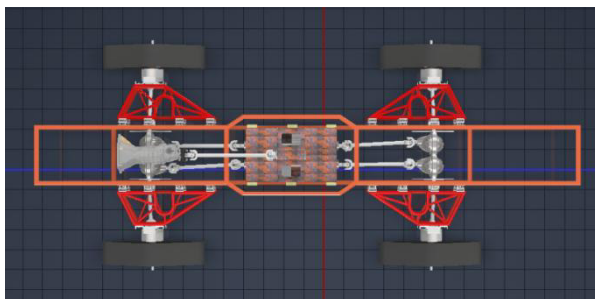


Рис. 5. Общий вид привода УГШ

В настоящее время проект находится на стадии разработки рамы, подвески и привода. Далее планируется разработка кабины для машиниста, универсальные крепления и системы подключения оборудования к шасси.

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.

УДК 62-771

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ШИННОГО МАНИПУЛЯТОРА

М.А. Афанасьев

Научный руководитель – **Ю.Г. Попов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается использование топологической оптимизации для снижения массы машин и механизмов на примере металлоконструкций шинного манипулятора.

Ключевые слова: шинный манипулятор, топологическая оптимизация, тяжелая техника

TOPOLOGY OPTIMIZATION OF TIRE HANDLER METALWORK

M.A. Afanasev

Scientific Supervisor – **Y.G. Popov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper examines usage of topology optimization for reducing machinery weight on the example of the tire handler metalwork.

Keywords: tire handler, topology optimization, heavy equipment

Топологическая оптимизация – это оптимизация распределения материала в проектной области, с учетом прочностных, геометрических, жесткостных и др. ограничений, а также действующих нагрузок [1]. Использование ТО позволяет создать объект, удовлетворяющий критериям оптимизации в условиях, воздействующих на него нагрузок – то есть добиться максимального или минимального значения целевой функции при заданных ограничениях.

В XXI веке топологическая оптимизация стала предметом активного изучения, а затем была внедрена на производстве. Инструменты для

ее выполнения были внедрены в большинство систем автоматизированного проектирования

Однако до недавнего времени ТО использовалась только в тех областях, где важна минимальная масса конструкции, а увеличение себестоимости изделия не имеет критического значения. В частности, это авиастроение, моторные виды спорта и др. Вместе с тем, применение ТО в тяжелом машиностроении было ограничено.

Использование метода плазменной резки на станках с числовым программным управлением позволяет создавать плоские детали со сложным контуром. Они, в свою очередь, могут быть использованы для производства рам, рабочих органов, несущих конструкций и других изделий. Такой метод позволяет уйти от применения аддитивных технологий и расширить область применения ТО.

Топологическая оптимизация является одной из разновидностей структурной оптимизации объектов [2]:

- Оптимизация размеров. В этом случае форма и топология конструкции известны, а ее размеры выступают в качестве переменных. В результате такой оптимизации могут быть изменены как габаритные размеры, так и размеры сечений, диаметры отверстий и т.д.

- Оптимизация формы. Существующие поверхности, их количество и границы сохраняются, однако изменению подвергаются координаты точек, образующих эти поверхности.

- Топологическая оптимизация. Позволяет создавать новые поверхности и формы, менять структуру объекта в рамках существующей проектной области.

Топологическую оптимизацию можно считать наиболее эффективным методом оптимизации, который позволяет не только снизить массу объекта, но и обеспечить заданные характеристики прочности и надежности.

Методы топологической оптимизации активно используются в космической и авиационной отрасли, моторных видах спорта, а также архитектуре. До настоящего времени, в тяжелом машиностроении такие технологии использовались достаточно ограниченно.

Вместе с тем метод топологической оптимизации позволяет решить целый ряд задач, связанных с проектированием тяжелых несущих конструкций.

В данном исследовании был выполнен прочностной анализ металлоконструкции шинного манипулятора, а также проведена их топологическая оптимизация.

Объектом оптимизации является металлоконструкция шинного манипулятора, установленного на фронтальный погрузчик ПК-55. Манипулятор предназначен для перемещения грузов массой до 3000 кг. В ка-

честве среды проектирования был использован AutodeskInventorProfessional 2021 (AIP).

Для оптимизации использовалась готовая 3D-модель шинного манипулятора с параллелограммной конструкцией. Для оптимизации применялся инструмент «Генератор форм» в AIP. При расчетах была учтена собственная масса металлоконструкции, а также нагрузки, возникающие от сжатия колеса и от его веса. Области, необходимые для размещения шарнирных соединений были сохранены. Расчет проводился отдельно для рамы и рычагов захвата. Сгенерированная форма рычага и конечная 3D-модель приведены на рис. 1.

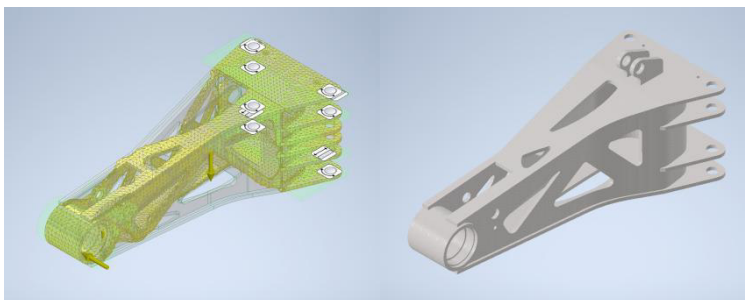


Рис. 1. Оптимизированная форма рычага захвата

В дальнейшем, с помощью инструмента «Анализ напряжений» в AIP была проведена проверка напряжений, возникающих в рычаге. Проверка показала, что конструкция обеспечивает достаточный запас прочности. Результаты анализа приведены на рис. 2.

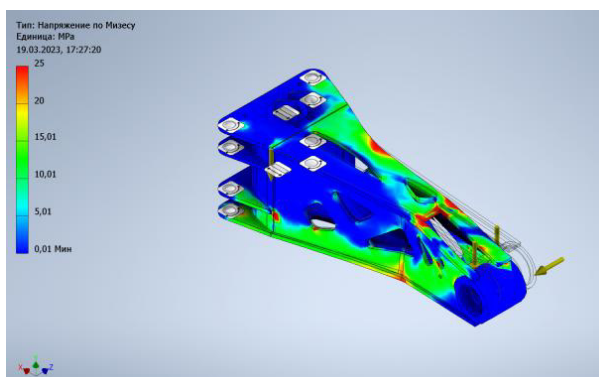


Рис. 2. Анализ напряжений

Аналогичным образом была выполнена топологическая оптимизация рамы манипулятора. Итоговый вид сборки приведен на рис. 3.

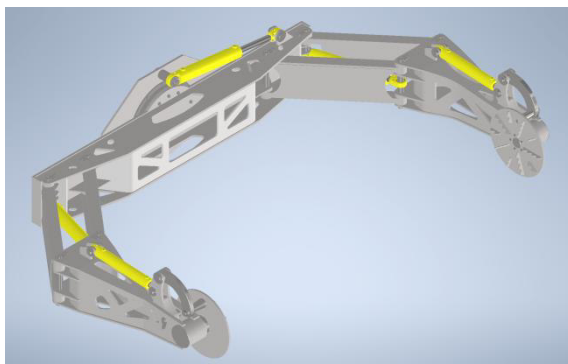


Рис. 3. Шинный манипулятор после оптимизации

Топологическая оптимизация шинного манипулятора позволила снизить массу металлоконструкции на 10% - с 2036 до 1841 кг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы топологической оптимизации конструкций, применяющиеся в аэрокосмической отрасли. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-topologicheskoy-optimizatsii-konstruktsiy-primenyayuschiesya-v-aerokosmicheskoy-otrasli/viewer>
2. *Ghabraie K.* (n.d.). Applications of Topology Optimization Techniques in Seismic Design of Structure // Structural Seismic Design Optimization and Earthquake Engineering: Formulations and Applications. Chapter 10. 2012. P. 232-268. URL: <https://www.igi-global.com/gateway/chapter/66749>

УДК 625.768.1

РАЗРАБОТКА ПРИЦЕПНОЙ ПОДМЕТАЛЬНО-УБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

П.О. Аширкулиев, Н.Е. Тарасова

Научный руководитель – **Н.Е. Тарасова**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются конструкции подметальных уборочных машин; описана предложенная конструкция прицепной универсальной подметальной машины.

Ключевые слова: подметальная уборочная машина, щетка, бункер, конвейер

DEVELOPMENT OF A TRAILED SWEEPER

P.O. Ashirkuliyev, N.E. Tarasova

Scientific supervisor – **N.E. Tarasova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The designs of sweepers are considered; the proposed design of a trailed universal sweeper is described.

Keywords: sweeper, brush, hopper, conveyor

Для поддержания в любом современном городе чистоты и порядка требуется не только человеческая рабочая сила, но и многочисленная коммунальная техника, которая обеспечит комфорт жителей. И чем обширнее городская территория, тем, как правило, больше применяется различной техники.

Классификация коммунальной техники определяется нормативным стандартом ГОСТ 31544-2012 [1]. В нём описаны виды машин, использующихся городскими службами для поддержания инфраструктуры, инженерных коммуникаций и урбанистической среды. Общая классификация коммунальных машин (КМ) приведена на рис. 1.

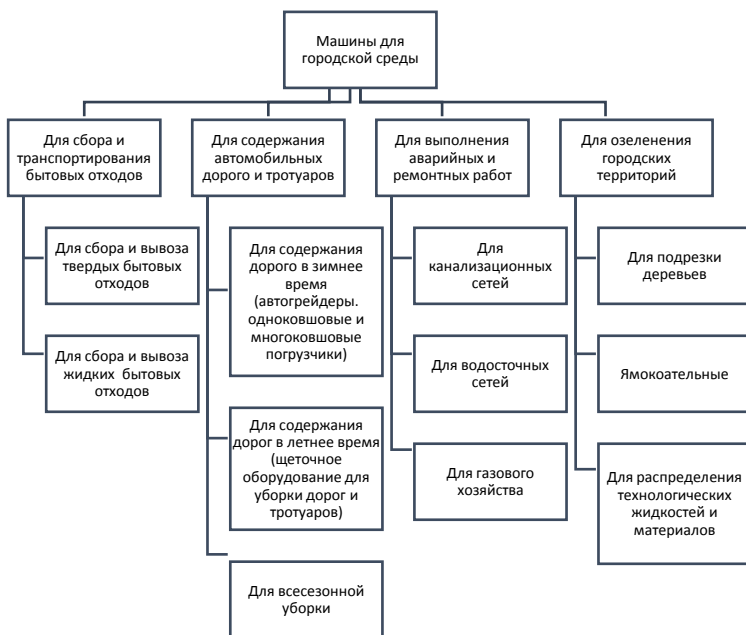


Рис. 1. Виды коммунальных машин по выполняемым задачам

Для уборки дорожного полотна в летнее время применяют универсальную технику – подметально-уборочные машины (ПУМ). Подметально-уборочная машина предназначена для механизированной уборки проезжей части городских улиц, площадей и автострад с самозабором смета в бункер, а также для перевозки собранного смета к свалкам. Разновидностью ПУМ является тротуароуборочная машина – она очищает тротуары, внутриквартальные проезды, дворовые территории с асфальтобетонным покрытием от грунтовых наносов и мусора летом, от свежевывавшего и уплотненного снега зимой.

Оптимальным и доступным вариантом ПУМ является комбинированная машина с несколькими видами щеток. Это прицепная техника, применяемая на разных видах тракторов [2].

В ходе выполнения курсового проекта предложена конструкция подметальной уборочной машины на базе трактора МТЗ-320 (рис. 2).

Машина состоит из трактора 1, рамы с ходовой частью, транспортирующего конвейера 2, главной цилиндрической щетки и комплекта роторных щеток и бункера для сбора и транспортирования мусора.

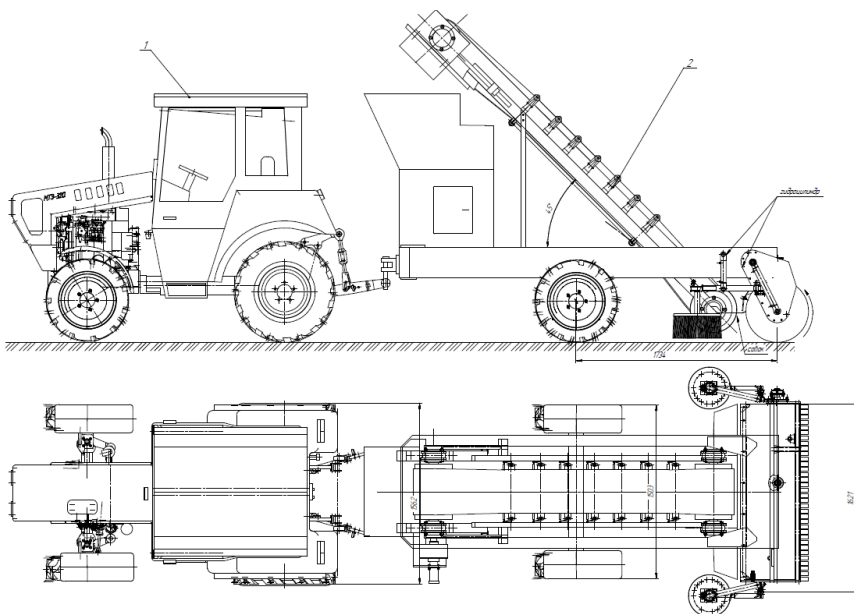


Рис. 2. Предложенная конструкция подметально-уборочной машины на базе трактора МТЗ-320

В качестве основного собирающего оборудования на машину установлено два вида щеток. Первая – главная роторная щетка шириной 1,5 м, диаметром 0,54 м (рис. 3). Щетина главной щетки выполнена из стального троса диаметром 0,6 мм. Количество щетин главной щетки 19,7 тыс.

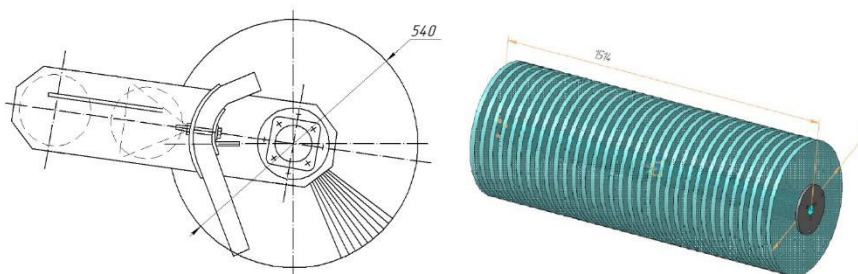


Рис. 3. Геометрия главной щетки и рамы главной щетки

По бокам от главной щетки расположены две лотковые, щетина которых выполнена из полипропилена диаметром 1 мм, расположена в три ряда по кругу (рис. 4). Количество щетин на одной лотковой щетке 4,3 тыс.

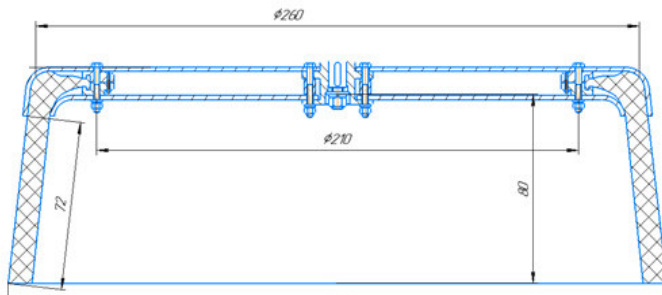


Рис. 4. Конструкция лотковой щетки

В качестве транспортирующего органа установлен ленточный конвейер с шириной ленты 400 мм, углом наклона к проезжей части 45 градусов. Собранный мусор и смет перемещается по ленте в бункер для смета объемом 0,8 м³.

Конструкция щеточного оборудования обеспечивает ширину подметания 1,5 м. Скорость передвижения машины 5 км/ч.

Предложенная конструкция имеет ряд достоинств:

1) Конструкция выполнена на прицепе, может быть прикреплена практически к любой модели базовой техники, имеющейся в парке коммунального хозяйства.

2) Цилиндрическая главная щетка обеспечивает очистку от мусора и смета дорожное полотно шириной 1,5 метра.

3) Боковые лотковые щетки позволяют проводить эффективную уборку тротуаров и прибордюрной зоны проезжей части.

4) Наличие ленточного транспортера и накопительного бункера исключает необходимость дополнительного сбора смета и, соответственно, дублирующей уборочной машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 31544-2012 Машины для городского коммунального хозяйства и содержания дорог. Специальные требования безопасности.
2. Подметально-уборочные машины. Устройство, основы расчёта: учеб. пособие / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов, Н.Д. Селиверстов; под общ. ред. Г.В. Кустарёва. М.: МАДИ, 2016. 144 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ДРЕВЕСИНЫ

Д.А. Бибик, Д.В. Фурманов

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

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются конструкции оборудования для измельчения древесины; описана предложенная конструкция роторной дробилки для древесины.

Ключевые слова: *измельчение древесины, ротор, нож, двигатель, клиноременная передача*

DESIGNING A WOOD SHREDDER

D.A. Bibik, D.V. Furmanov

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

Yaroslavl State Technical University

The designs of equipment for wood crushing are considered; the proposed design of a rotary crusher for wood is described.

Keywords: *wood grinding, rotor, knife, engine, V-belt transmission*

Утилизация отходов древесины имеет огромное народнохозяйственное значение. С одной стороны, она позволяет удовлетворить потребность строительства во многих конструктивных, облицовочных и теплоизоляционных материалах, по техническим свойствам превосходящих пиломатериалы, а с другой – существенно сократить объемы вырубki леса.

В процессе механической переработки древесного сырья получают древесные частицы различной формы и размеров: щепу, дробленку, стружку, опилки, древесную муку и древесную пыль (рис. 1).

Переработка древесины и древесных отходов в древесные частицы осуществляется на специальном измельчающем оборудовании, выбор которого зависит от типа исходного сырья и конечной формы получаемых частиц.



Рис. 1. Виды древесных частиц

По типу механизма резания различают: дисковые, барабанные, конические и рубильные машины. В зависимости от вида режущего инструмента машины бывают ножевые и резцовые. Расположение режущего инструмента на рабочем органе бывает радиальным, спиралевидным и ступенчатым. Все модели измельчителей (дробилок) находят свое место в деревообрабатывающей промышленности.

Для небольших предприятий и частного использования оптимальны дисковые мобильные дробилки.

В ходе выполнения курсового проекта предложена конструкция измельчителя для древесины (рис. 2).

Измельчитель содержит корпус, загрузочный лоток, дисковый рабочий орган, выпускную трубу, клиноременную передачу и двигатель. Корпус дробилки разборный, рабочее оборудование в доступе для обслуживания и регулировки.

Заявленная производительность измельчителя 9,66 м³/ч. Частота вращения дискового режущего элемента 2000 об/мин.

Патрон подачи измельчаемого материала расположен под углом 45° к вертикальной оси аппарата. Выпускная труба выполнена поворотной для смены направления движения щепы. Выгрузка древесных частиц осуществляется сверху. Выход материала не ограничен дополнительными колосниками, осуществляется через выпускную трубу в накопительный бункер или площадку для сбора помолы.

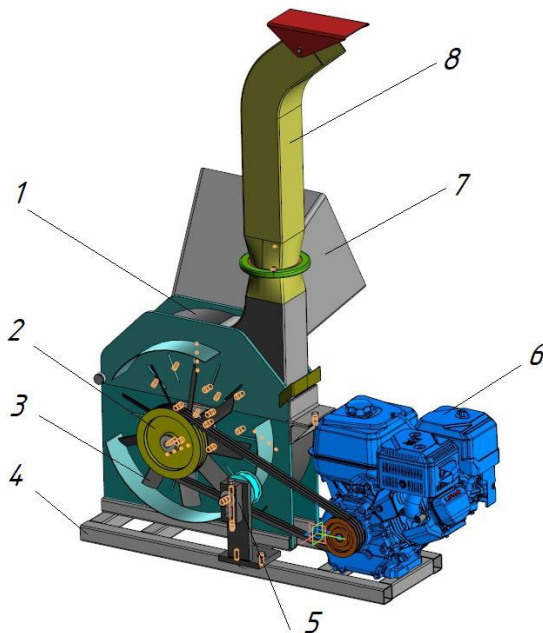


Рис. 2. Модель спроектированного измельчителя (дробилки):

- 1 – корпус; 2 – клиноременная передача; 3 – вентилятор;
- 4 – рама; 5 – натяжное устройство; 6 – двигатель;
- 7 – загрузочный лоток; 8 – выпускная труба

В качестве рабочего органа предложен диск (ротор), содержащий три режущих древесину ножа. Ножи расположены симметрично под углом 120° и закреплены на роторе четырьмя болтами.

На валу установлен подшипниковый узел UCF208 Technix, который состоит из фланцевого корпуса F208 и подшипника шарикового радиального UC208.

На модель установлен четырехтактный двухцилиндровый бензиновый двигатель Lifan KP460 мощностью 15 кВт, достаточной для обеспечения заданной производительности.

Привод машины включает клиноременную передачу, снабженную тремя ремнями с оберткой повышенной прочности марки «Oleostatic Megadupe», обеспечивающие достижение заданной мощности. Ведущий и ведомый шкивы клиноременной передачи имеют диаметры, соответственно, 112 и 200 мм, межосевое расстояние 553 мм. Длина ремня 1600 мм, запас для натяжения и смены ремней обеспечен. Регулировка натяжения осуществляется прижимным механизмом

Принцип работы дробилки следующий: исходный материал, поступая в зону измельчения (помольную камеру) ударяется о вращающийся ротор. Так происходит первичное измельчение, после чего материал отбрасывается и ударяется о брони корпуса дробилки.

Данный процесс происходит неопределенное количество раз, вследствие чего материал приобретает заданную крупность. Крупность материала зависит от зазора между ударными элементами ротора и отбойниками на корпусе.

Преимущество данной конструкции заключается в производительности и неприхотливости к качеству исходного сырья (сырье не обязательно должно быть идеально сухим).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гомонай М.В.* Технология переработки древесины: учеб. пособие. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 231 с.
2. *Вальщиков Н.М.* Рубильные машины. М.: Машиностроение, 1970. 328 с.
3. *Лустенков М.Е.* Детали машин: учебное пособие. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. 240 с.

ШАГАЮЩИЙ РОБОТ КАК ДОСТАВЩИК МАЛЫХ ГРУЗОВ НА СТРОЙПЛОЩАДКЕ

Д.А. Гончаренко, Л.М. Шамахов

Научный руководитель - **Л.М. Шамахов**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

В данной работе рассматриваются существующие шагающие роботы, их устройство и принцип действия. Приводится концепт модели шагающего робота в малом масштабе для проведения лабораторных испытаний и изучения возможностей таких машин.

***Ключевые слова:** робот шагающий, корзина грузовая, траектория движения, сервопривод, гироскоп, акселерометр, Arduino*

WALKING ROBOT AS SMALL LOAD DELIVER ON THE BUILD SITE

D.A. Goncharenko, L.M. Shamakhov

Scientific Supervisor – **L.M. Shamakhov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

This paper discusses the existing walking robots, their device and principle of operation. The concept of a model of a walking robot on a small scale is given for laboratory testing and studying the capabilities of such machines.

***Keywords:** walking robot, cargo basket, motion trajectory, servo, gyroscope, accelerometer, Arduino*

В данной статье рассматривается создание концепта модели автономно-грузового робота с шаговым движителем и возможностью движения по лестнице с дополнительной корзиной для грузов. Модель выполнена в малом масштабе для изучения и проведения лабораторных исследований с целью определения возможностей таких роботов, а также для выявления достоинств и недостатков.

«Робот-собака» уже не революционное изобретение. Американская компания Boston Dynamics давно массово производит таких роботов для разных целей. Например, они разработали такие модели, как Spot (рис.1, а) служащий в основном для работ по дому [1] и BigDog (рис. 1, б) разрабо-

танной для транспортировки различных грузов по пересеченной местности [2]. Однако оба робота имеют примерно одинаковый принцип действия.

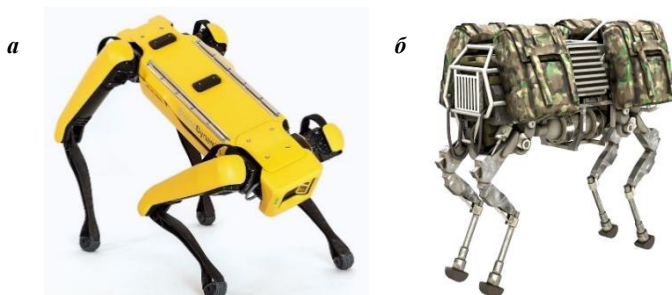


Рис. 1. Шагающие роботы:
a - модель Spot, *б* – модель Big Dog

Рассмотрев передвижения животных со схожим телосложением, можно добиться повышенных характеристик шагающей платформы с точки зрения перемещения робота и сохранения равновесия. Так в работе [3], авторы рассмотрели движение кошки и сделали вывод, что при нормальной скорости, ноги, которые расположены диагонально двигаются попарно (рис. 2, *з*). К сожалению, в работе не отражено перемещение робота вверх или вниз по ступенькам. Однако результат следует считать за хорошую базу для продолжения исследований в данной области.

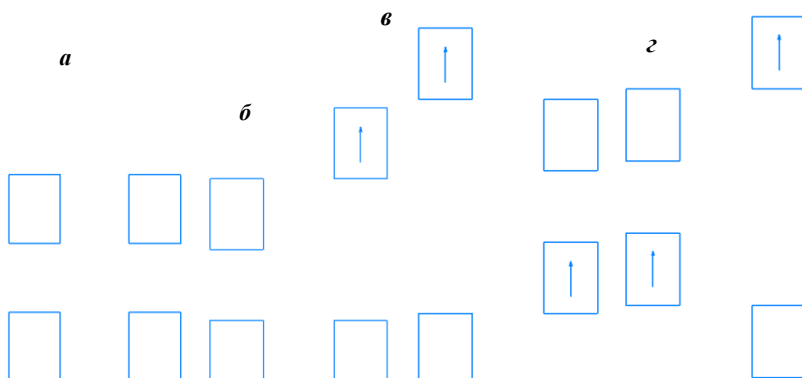


Рис. 2. Перемещение робота:
a – состояние покоя; *б* – начало передвижения;
в – начало попарного передвижения; *з* – установившееся движение

Механизм передвижения робота был выбран именно шагающий, так как другие виды движителей попросту не способны преодолевать препятствия по типу ступеней лестницы. Так же опытный образец, было решено выполнить с четырьмя конечностями, что позволяет достигнуть большей грузоподъемности, устойчивости и скорости передвижения.

Позиционирования робота достигается с помощью ультразвуковых датчиков расстояния [4], функционал которых в достаточной мере обеспечит требуемую работоспособность робота. Перемещение конечностей робота осуществляется за счет сервоприводов, расположенных в местах сгиба конечностей, что обеспечит плавность хода робота. Корзина для грузов, расположенная в центральной части рамы, способна сохранять своё горизонтальное положение, т.к. на ней располагается гироскоп и акселерометр, которые будут подавать сигнал на сервоприводы служащие для регулирования положения корзины. Управление роботом будет осуществляться через wi-fi модуль, который через дополнительный пульт. За управление всем этим набором компонентов будет отвечать одна плата Arduino, которая будет запрограммирована на соответствующие действия. Концепт шагающего робота с корзиной для груза приведен на рис. 3.

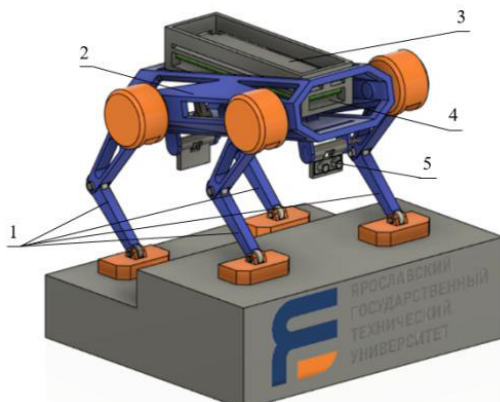


Рис. 3. Концепт шагающего робота:

- 1 – шаговый движитель;
- 2 – корпус;
- 3 – грузовая корзина;
- 4 – отсек для размещения управляющей платы и аккумуляторов;
- 5 – ультразвуковые датчики

Представленная модель сделана в упрощенном варианте, чтобы показать принцип работы робота и его возможности. В дальнейшем конструкция будет дорабатываться, с последующей реализацией с применением 3D-печати.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Boston Dynamics. Spot, transformative mobility. URL: <https://www.bostondynamics.com/sites/default/files/inlinefiles/spotspecifications.pdf>
2. Boston Dynamics. Big dog. URL: <https://www.bostondynamics.com/legacy>
3. *Казаку А.А.* моделирование четырехногого шагающего робота в среде V-REP / А.А. Казаку, А.А. Аракелян, Ю.Б. Ивацевич // Сб. ст. XXVII междунар. науч.-практ. конф. М.: Науч.-издат. центр «Актуальность.РФ», 2020. С. 63-65.
4. *Гаричев К.А.* Анализ систем позиционирования на местности / К.А. Гаричев, Д.А. Гончаренко, Л.М. Шамахов // Семьдесят пятая всерос. научн.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с междунар. участием: сб. материалов конф. В 3 ч. Ярославль, 20–21 апреля 2022 года. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. С. 448-451. 1 CD-ROM.

УДК 625.768.6

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОММУНАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В.С. Егоров, А.С. Морев

Научный руководитель – **А.С. Морев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В данной статье рассмотрены основные тенденции развития коммунальной техники, такие как создание комбинированных машин, установка систем мониторинга и управления и разработка автономных коммунальных машин.

Ключевые слова: коммунальная техника, комбинированные дорожные машины, системы мониторинга, автономное управление, беспилотное управление

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF UTILITY EQUIPMENT

V.S. Egorov, A.S. Morev

Scientific Supervisor - **A.S. Morev**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This article discusses the main trends in the development of utility vehicles, such as the creation of combined machines, the installation of monitoring and control systems, and the development of autonomous utility machines.

Keywords: utility equipment, combined road vehicles, monitoring systems, autonomous control, unmanned control

Жилищно-коммунальное хозяйство относится к сфере экономики, от которой зависит качество жизни и благополучие населения страны.

В России имеется большое количество городов и населённых пунктов, которые обладают большими территориями в связи с чем качественное обслуживание придомовых территорий и автомобильных дорог, а также эффективное функционирование коммунального хозяйства невозможно без специализированной техники для уборки улиц и тротуаров.

По действующим нормативам, для содержания в порядке, автомобильных магистралей на 100 километров дороги требуется от 35 до 43 специальных машин различного назначения. Для города эти цифры не меньше [1].

Основные тенденции в развитии коммунальной техники заключаются в разработке и производстве комбинированных дорожных машин (КДМ) с возможностью смены рабочего оборудования, установки систем мониторинга работы навесного оборудования и разработки систем автономного управления коммунальных дорожных машин.

Универсальные машины КДМ имеют широкие возможности для обслуживания городских и магистральных дорог, в связи с этим основной задачей работы КДМ заключена в сохранении и поддержании дорожных покрытий и дорожной инфраструктуры в рабочем состоянии. Зимой используются для очистки дорог от снежного покрова, распределения противогололедных материалов, а летом - для мойки дорожного полотна, остановок, поливки зеленых насаждений. Благодаря простоте смены оборудования, разнообразию дополнительного оборудования и опций являются незаменимыми для содержания дорог [2].

Комбинированные дорожные машины разрабатываются на автомобильных шасси КАМАЗ, МАЗ и т.д. В зимний период на шасси автомобиля могут устанавливаться распределитель противогололедных материалов (пескоразбрасыватель), система смачивания, отвалы и щетки для уборки снега. Летом на это же самое шасси могут устанавливаться пластиковые емкости и поливочное оборудование для мойки и поливки дорожных покрытий, щетки для уборки дорог и тротуаров.

Система мониторинга работы навесного оборудования позволяет контролировать работу оборудования и учитывать время и режимы работы оборудования, а также управлять всеми параметрами и системами машины. Внедрение автоматизации в практику эксплуатации коммунальных машин позволяет получать от них более высокую отдачу, в процессе всего срока службы машины. Система мониторинга имеет следующие возможности:

- оказывает помощь в управлении стационарным и навесным рабочим оборудованием КДМ;
- обеспечивает автоматический режим работы системы пескоразброса, поддерживает требуемую плотность и ширину посыпки на заданном уровне;
- отображает видеосигнал от подключенных видеокамер, обеспечивая круговой мониторинг рабочей зоны для коммунальной техники;
- позволяет вести контроль и отображает важные параметры функционирования дорожной машины, навесного и стационарного оборудования, работы двигателя автомобиля и его КПП;
- ведение электронного журнала рабочих параметров и возникновения ошибок системы.

Система дает возможность дистанционного контроля путем сбора и передачи информации через USB разъем или удаленно, с помощью блока телеметрии [3].

Разработки в области автономной коммунальной техники сейчас являются актуальными во всём мире. Многие компании ведут разработки и исследования в области беспилотных машин, которые управляются при помощи программы и специального оборудования по заданному алгоритму, в то время как оператор удаленно следит за их состоянием и работой.

Одной из таких разработок является Trombia Free – робот-уборщик от финской компании Trombia Technologies Oy. Trombia Free используют систему из сенсоров LIDAR и технологию компьютерного зрения, чтобы самостоятельно развезжать по городу и избегать препятствий. Ровер может работать в любую погоду, днём и ночью. Максимальная скорость, которую может развивать система двигателей – 10 км/ч, однако разработчики программно ограничили этот предел диапазоном от 2 до 6 км/ч, так как этого достаточно для задач по уборке улиц.



Рис. 1. Робот-уборщик Trombia Free [4]

При уборке улиц Trombia Free потребляет около 6-10 кВт энергии. Габариты уличного «робота-пылесоса» около 3,5 в длину и 2,3 м в ширину. Если добавить щётки для прочистки водостоков, то ширина составит целых 3 м. Ёмкость встроенных аккумуляторов варьируется от 45,6 до 91,2 кВт/ч в зависимости от конфигурации, что даёт до 17 часов непрерывной работы [4].

Также и в нашей стране ведутся подобные разработки, одной из таких является робот-уборщик «Пиксель» российской компании «Автономика» (рис. 2). Коммунальная машина оборудована системой компьютерного зрения, которая позволяет технике ориентироваться в пространстве.



Рис. 2. Робот-уборщик «Пиксель» [5]

Кроме того, искусственный интеллект способен самообучаться. В движение «Пиксель» приводит электромотор, который позволяет машине выполнять работу практически бесшумно. Конструкция техники предусматривает смену необходимого оборудования. К примеру, транспорт можно оснастить уборочной щеткой или пылесосом [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ российского рынка коммунальной спецтехники. Перевозка 24. URL: <https://perevozka24.ru/pages/analiz-rossiyskogo-rynka-kommunalnoy-spectehniki>
2. Комбинированные дорожные машины. Арзамас КОММАШ. URL: <https://www.kommash.ru/products/kombinirovannye-dorozhnye-mashiny/>
3. Система управления коммунальной техникой (КДМ). RGRobotics. URL: <https://rgrobotics.ru/articles/sistema-upravleniia-kommunalnoi-tekhnikoi-kdm>
4. Автономные роботы-уборщики Trombia Free начали следить за чистотой улиц Хельсинки. 3DNews. URL: <https://3dnews.ru/1038810/avtonomie-robotiuborshchiki-trombia-free-nachali-sledit-za-chistotoy-ulits-helsinki>
5. Российские улицы будет убирать электрический беспилотник. Motor.ru. URL: <https://motor.ru/news/pixel-russia-27-01-2023.htm>

РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОДНОКОВШОВОГО ПОГРУЗЧИКА

П.В. Зобова, Н.Е. Тарасова

Научный руководитель – **Н.Е. Тарасова**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрены виды ковшей одноковшовых погрузчиков. Рассмотрена конструкция ковша с подвижной задней стенкой для очистки ковша от налипания грунта.

Ключевые слова: одноковшовый погрузчик, ковш, гидроцилиндр, выталкиватель, скребок

WORKING EQUIPMENT OF A SINGLE-BUCKET LOADER

P.V. Zobova, N.E. Tarasova

Scientific Supervisor – **N.E. Tarasova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The types of buckets of single-bucket loaders are considered. The design of a bucket with a movable back wall for cleaning the bucket from soil sticking is considered.

Keywords: single bucket loader, bucket, hydraulic cylinder, ejector, scraper

Одноковшовые погрузчики используют в зависимости от их типа-размера, типа ходового устройства и вида выполняемых работ применяют различное сменное рабочее оборудование. Их разделяют на несколько групп, по типу их функциональности: землеройно-погрузочное, грузоподъемное, снегоуборочное и вспомогательное [1].

Рабочее оборудование фронтального погрузчика делятся на типы по назначению (рис. 1).

При работе с тяжелым, налипающим и вязким грунтом возникает проблема налипания грунта в ковше [2]. Эту проблему можно решить, сделав заднюю стенку ковша подвижной.

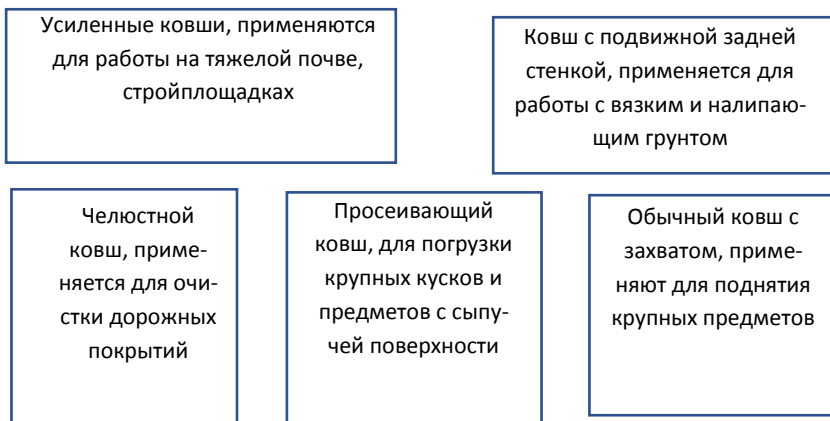


Рис. 1. Типы ковшей одноковшовых погрузчиков

Такие ковши обеспечивают работу на разработке и погрузке материалов повышенной вязкости, а также позволяет выполнять бульдозерные работы при выдвинутом вперед выталкивателе (подвижная стенка). При работе ковшом с подвижной стенкой есть проблема налипания грунта на дно и стенки, что уменьшает эффективность выполнения работы и производительности машины в целом.

Для решения данной проблемы разработан ковш с подвижной задней стенкой, на которой установлен скребок [3]. Цель модернизации - повышение эффективности работы ковша путем поджатия скребка к днищу и увеличение производительности погрузчиков. Разработана 3Д модель ковша с подвижной стенкой, рычагами и скребками (рис. 2).

Данный ковш позволяет уменьшить налипание грунта за счет того, что в ковше имеются корпус с днищем 1, шарнирно подвешенный к корпусу выталкиватель 2, скребок 3, шарнирно закрепленный на выталкивателе, и гидроцилиндр поворота выталкивателя 4, шарнирно связанный с корпусом и выталкивателем. Скребок закреплен на нижней части выталкивателя с помощью двуплечих рычагов 5, а на днище выполнены клиновидные упоры 6 для взаимодействия с двуплечими рычагами.

Металлоконструкция ковша имеет корпус, состоящий из днища и боковыми стенками. Корпус ковша крепится к стандартной стреле и тяге одноковшового погрузчика с помощью шарниров.

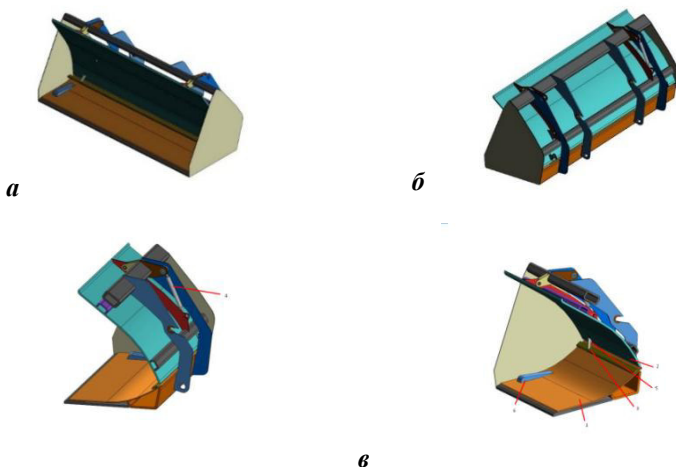


Рис. 2. Ковш погрузчика с выталкивателем:
а – вид спереди; *б* – вид сзади; *в* – ковш в разрезе

Ковш работает следующим образом: при выдвигании штока гидроцилиндра 4 выталкиватель 2 начинает менять положение от заднего положения к передней кромке ковша. При движении выталкивателя скребок 3, прикрепленный к выталкивателю, очищает дно ковша от налипшего грунта. Рычаги 5 скребков гарантируют достаточно плотное, с минимальным зазором, скольжение скребков по днищу ковша во время всего маневра. Это также гарантирует полное очищение ковша при работе. При обратном движении гидроцилиндра выталкиватель возвращается в исходное положение.

Таким образом, при минимальном зазоре между дном и скребками, происходит максимальная очистка дна ковша. Такая конструкция увеличивает эффективность работы ковша при работе с налипающим грунтом. Также повышается производительность работы и водителя погрузчика, увеличивая объемы выполненной работы в определенный промежуток времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов С.В.* Фронтальные погрузчики: Учеб. пособие / М-во нар. образования КазССР, Караганд. политехн. ин-т. Караганда: КарПТИ, 1990. 157 с.
2. Навесное оборудование для фронтальных погрузчиков. Ковши для фронтальных погрузчиков: объемы и типы. URL: http://www.spectz.ru/navesnoe_oborudovanie.html (дата обращения 12.03.2023)
3. Пат. 692942 СССР, МПК E02F 3/42. Ковш погрузчика / Калинин В.С. опубли. 29.10.1979. URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU692942A1_19791025 (дата обращения 12.03.2023)

УДК 629

**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.

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 наноса.

На сегодняшний день не сформировалось единой классификации разновидностей снежно-ледяных образований. В разных источниках существует описание видов таких образований. Однако они могут отличаться как по терминологии, так и по показателям прочностных свойств и других физико-механических свойств. К тому же не найдены исследования по прочностным свойствам СЛО, получившихся в результате многодневного накопления, когда снегопады сменяются оттепелью и резким понижением температур, вследствие чего такой вид снежного наноса может представлять из себя «многослойный пирог» с примесями песка и других видов загрязнения, который смерзается с дорожным покрытием на столько прочно, что его можно убрать только тяжелой техникой, не предназначенной для этих задач.

В результате теоретических исследований по обзору видов снежных наносов на дорожных покрытиях на кафедре СДМ ЯГТУ были предприняты попытки сформировать классификацию таких снежно-ледяных образований с их прочностными свойствами и выбором соответствующей техники для удаления конкретного вида СЛО.

По проведенному обзору СЛО можно выделить следующие базовые виды снежных и ледяных образований на автомобильных дорогах и тротуарах (табл. 1) [1].

Таблица 1. Типы снежно-ледяных образований, их классификация и характеристики

Типы	Условия формирования	Причина формирования	Плотность, кг/м ³	Твердость, кг/см ²
Гололед	Выпадение жидких атмосферных осадков, понижение температуры после дождей и туманов	При оттепелях	700-900	90-200
Снежный покров	Естественное осажение атмосферных осадков при отрицательных температурах	Во время снегопада при ветровом переносе и метелях	30-40	0,5-1
Снежный накат	Уплотнение снежного покрова естественным и механическим путем	Уплотнение колесным трактором, гусеничным трактором, автомобилями и пешеходами	10-40	2-10
Снежно-ледяной накат	Естественное таяние снежного наката при повышении температуры окружающей среды	В результате трения и искусственного выделения тепла	600-800	2-5
Снежно-ледяная смесь	Механическое перемешивание снежно-ледяного наката	В результате введения солей	700-900	50-180
Наледь	В условиях резкого перепада температуры окружающей среды	В результате излияние воды на поверхность дороги	920	10-500

В основном в регламентах и СНиПах по уборке СЛО указаны только сроки уборки разных видов территорий, но не затрагивается тема по подбору конкретной техники.

Зная механические свойства покрытия, можно изучить вопрос с подбором машин и оборудования для ее ликвидации (табл. 2) [1].

Таблица 2. Методы борьбы с наледью

Вид образования	Методы борьбы с ними
Снежный покров	Грейдер, трактор с отвалом, шнекороторные установки снегоочистители, лаповые погрузчики
Снежный накат	Плужные снегоочистители, скребковые транспортеры, погрузчики с фронтальным ковшом
Снежно-ледяной накат	Фрезерное оборудование, шнековый ледорез
Снежно-ледяная смесь	Фронтальный погрузчик, грейдер, бульдозер
Гололед, наледь	Соль, рассолы, песок, мелкий щебень, крошку гранита и мрамора. Вибрационные машины, тепловые машины, тяжелые грейдеры, ручной инструмент

С точки зрения зимнего содержания покрытий автомобильных дорог самый трудоемкий процесс – это удаление прочных снежно-ледяных образований 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 в виду отсутствия специализированной техники, способной произвести очистку без ущерба дорожному покрытию.

Известны конструкции различного оборудования (фрезерного, молоткового, ударного, вибрационного и др.) для удаления прочных видов СЛО. Однако, по разным причинам они не нашли широкого применения. В этой связи перспективным направлением решения проблемы очистки дорог и тротуаров от прочных видов СЛО является разработка универсального навесного фрезерного оборудования со специальными режущими элементами, позволяющая проводить очистку без ущерба дорожному покрытию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зимнее содержание автомобильной дороги: Методические указания / ИИСИ; сост. С.Г. Цупиков. 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. Боковикова; Иванов. гос. арх.-строит. у-т. Иваново, 2008. 136 с.
3. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. М.: Стройиздат, 1983.

УДК 629.1.02

ПЛАТФОРМА ДЛЯ ВНУТРИЦЕХОВОГО ТРАНСПОРТА С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Д.А. Карякин, И.С. Тюремнов

Научный руководитель – **И.С. Тюремнов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается актуальная проблема перевозки грузов из одного цеха в другой, а также для отправки готовой продукции в экспедицию или на станцию отправления

***Ключевые слова:** перевозка, внутрицеховой транспорт, транспорт*

PLATFORM FOR IN-SHOP TRANSPORT WITH ELECTRIC DRIVE

D.A. Karyakin, I.S. Tyuremnov

Scientific Supervisor – **I.S. Tyuremnov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The actual problem of cargo transportation from one shop to another, as well as for sending finished products to an expedition or to a departure station, is considered.

***Keywords:** transportation, domestic transport, transport*

Внутрицеховой транспорт служит для перевозки грузов из одного цеха в другой, а также для отправки готовой продукции в экспедицию или на станцию отправления. Эти перевозки могут осуществляться различными подъемно-транспортными средствами. Основной вид транспорта, даже на передовых заводах массового производства, является колесным. Заводы массового и серийного производства в настоящее время стремятся сократить малопроизводительный и дорогостоящий колесный транспорт, заменяя его системой подвесных конвейеров с автоматической доставкой груза к рабочим местам в соответствии с записанной программой.

По видам транспорта различают:

- рельсовый (железнодорожный узкоколейный);

- безрельсовый (автотранспорт, электротранспорт);
- трубопроводный (трубопроводный пневмотранспорт, гравитационные продуктопроводы и т.д.);
- подъемно-транспортные средства (конвейеры, краны, погрузчики, лифты и т.п.).

У каждого вида внутрицехового транспорта есть свои достоинства и недостатки. Например, конвейер или трубопроводная система имеют жесткую линию передвижения, которую поменять в короткий срок не получится, то есть при переходе на другое оборудование будет тратиться время на перестройку и отладку пути линии.

Предлагаемая конструкция напольной тележки предполагает использование на заводе по производству квадроциклов и снегоходов «Русская механика» (рис. 1). Такой транспорт может использоваться и для перевозки определенного груза и в качестве конвейера с гибкой линией сборки.

Данное оборудование соответствует всем нормам для использования внутри помещения, так как у него нет вредных выбросов во время работы. Габариты тележки: длина – 3300 мм, ширина 1300 мм, что позволяет перевозить самый большой снегоход в линейке «Русской механики» Frontier 1000. Грузоподъемность тележки составляет 500 кг. Привод осуществляется двумя электродвигателями от детского снегохода РМ «Рысь». Передача крутящего момента от электродвигателя на приводное колесо производится за счет поликлиновой передачи. Используется два приводных колеса, расположенных по одному борту тележки. Максимальная скорость при транспортировании равна 8 км/ч. Платформа может преодолевать уклоны с углом до 15° со скоростью до 2 км/ч. Высота платформы тележки 80 см, что делает ее достаточно удобной для сборки и перемещения продукции производства. Тяговые аккумуляторы общей емкостью около 500 А·ч позволяют работать до 8 часов без подзарядки.

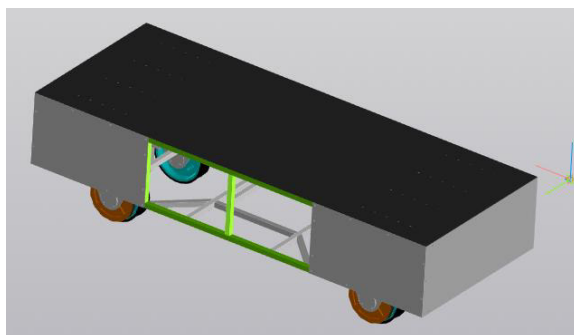


Рис. 1. Платформа для внутрицехового транспорта с электроприводом

Рулевое управление позволяет поворачивать колеса на угол до 45° в каждую сторону, что делает платформу достаточно маневренной. Рулевая трапеция обеспечивает больший угол поворота колес, находящихся на внутреннем радиусе поворота. Привод рулевого управления осуществляется шаговым электродвигателем (рис. 2).

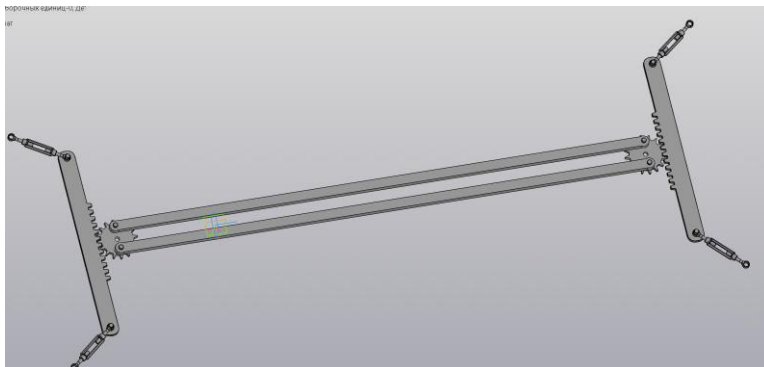


Рис. 2. Рычажная система рулевого управления

Траектория движения определяется с помощью датчиков, которые ориентируются по цветной или магнитной линии на полу. Такая схема ориентации дает возможность быстро и без особых затрат поменять маршрут передвижения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб. пособие для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа, 1978. 352 с.
2. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин: Учеб. пособие. Изд-е 2-е, перераб. и доп. Калининград: Янтар, 2002. 454 с.
3. Дунаев П.Ф. Детали машин. Курсовое проектирование: Учеб. пособие для машиностроит. спец. техникумов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1990. 399 с.

УДК 621.45.018.2

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО КАПИТАЛЬНОМУ РЕМОНТУ ДВС,
ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ НА ДИАГНОСТИЧЕСКО-
ДИНАМОМЕТРИЧЕСКИХ СТЕНДАХ, С ЭЛЕМЕНТАМИ
ИМИТАЦИИ НАГРУЗКИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ
МАШИН**

А.Е. Лабазов, А.С. Морев

Научный руководитель – **А.С. Морев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается состояние на сегодняшний день, заключительный процесс испытания двигателей внутреннего сгорания, актуальность проведения испытаний, проблемы проведения испытательных мероприятий, анализ вариативности готовых изделий, способы преодоления трудностей укомплектованности предприятий, для проведения операций по испытанию двс.

Ключевые слова: стенд для испытания двс, гидравлический нагрузочный элемент, гидротормоз, магнитно-порошковый нагрузочный элемент, 3-фазная машина постоянного тока

**ANALYSIS OF THE CURRENT STATUS AT ENTERPRISES
FOR OVERHAUL OF ICE, CARRYING OUT OPERATIONS
ON DIAGNOSTIC-DYNAMOMETRIC STANDS,
WITH ELEMENTS OF SIMULATION OF THE LOAD
OF THE WORKING EQUIPMENT OF MACHINES**

A.E. Labazov, A.S. Morev

Scientific Supervisor – **A.S. Morev**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The current state, the final process of testing internal combustion engines, the relevance of testing, the problems of conducting testing activities, the analysis of the variability of finished products, ways to overcome the difficulties of staffing enterprises for carrying out internal combustion engine testing operations are considered.

Keywords: engine test stand, hydraulic load element, hydraulic brake, magnetic powder load element, 3-phase DC machine

На сегодняшний день, в связи с мировыми событиями, актуальность ремонта двигателя внутреннего сгорания как никогда высока. Исходя из аналитических данных, спрос на ремонты увеличился в несколько раз. Причиной такой ситуации является трудность, а то и невозможность приобретения силового агрегата в сборе заводской сборки. Также по этой причине стоит острый вопрос с запасными частями.

Для проведения качественных ремонтных мероприятий и заключения о надёжности ремонтируемого агрегата, необходимо проводить тестовые испытания, с имитацией нагрузки сопротивлением: (рабочих органов машины, движителей машины и др.). На сегодняшний день существуют готовые решения по данному вопросу, отличаются они как технологичностью, ценовыми критериями, индивидуальными особенностями под двигатели и другими вариантами. Рассмотрим наиболее распространённые и актуальные варианты нагрузочных элементов.

Наиболее часто встречающиеся из нагрузочных агрегатов являются 3-фазными машинами постоянного тока, способными преобразовывать механическую энергию в электрическую, тем самым потребляя мощностные характеристики испытуемого агрегата, с возможностью диверсифицирования уровня нагрузки. Положительные стороны данного варианта нагружения: а) в период проектировки данной идеи, финансовые затраты на непосредственно саму электромашину не составляли огромных показателей, напротив, данный вариант был максимально прост в изготовлении и невысокой себе стоимости, вследствие чего, на сегодняшний день, довольно частое явление встретить данный агрегат на предприятиях специализирующихся на ремонте двигателей; б) возможность получения полезной работы, извлекаемой из потребляемой энергии испытуемого двигателя. При стабильных и частых испытательных мероприятиях агрегатов, возможно снизить расход потребляемой электроэнергии на непосредственно самом предприятии.

Недостатками данной вариации нагрузочного элемента, является: в первую очередь небезопасность проведения каких-либо мероприятий с использованием 3-фазной машины; вторым моментом, исходя из первого примера, для возможности эксплуатации и проведения мероприятий по испытаниям и не только необходим сотрудник, имеющий допуск к таким машинам, вследствие чего эластичность персонала способных производить испытания, а для обучения каждого сотрудника и получения допуска, требуются дополнительные финансовые и временные затраты; третьим отрицательным фактором является, это цена, актуальная на сегодняшний день, непосредственно самой машины.

Магнитно-порошковый тормоз [1]. Данный агрегат представляет собой техническое устройство, имеющее ротор и статор. В пространстве между ротором и статором, имеется магнитно-активный порошок, при

создании катушкой магнитного поля, порошок начинает изменять свои свойства, тем самым создавая сопротивление вращению ротора. В зависимости от регулирования силы ток, можно плавно изменять момент сопротивления устройства. Положительные стороны данного варианта: компактность агрегата, не требуется установки и внедрения дополнительных узлов и механизмов для поддержания постоянной работы и фиксирования определённой, не превышающей термической нагрузки на агрегат. Отрицательные моменты: в первую очередь финансовая дороговизна для приобретения готового агрегата, сложность конструктивных решений агрегата, повышенный риск для здоровья персонала, эксплуатирующего данный агрегат, в первую очередь от поражения электрического тока, при длительном использовании агрегата, недостаточная производительность системы отвода излишнего тепла.

Гидравлический тормоз. Данный вариант исполнения нагрузочного сопротивления для испытуемого агрегата, представляет собой машину, с принципом действия гидродинамического эффекта. Конструктив агрегата имеет ротор, статор, в полости между данными объектами роль связующего элемента играет жидкость, давая сопротивление при вращении ротора и преобразовывая механическую энергию от крутящего момента - в тепловую. Положительные стороны данного агрегата заключаются в его конструктивной простоте, относительно невысокой стоимости производства, безопасностью использования, возможностью проектирования и создания экономически обусловленных образцов под высокие мощности испытуемых агрегатов. К отрицательным сторонам можно отнести зависимость работоспособности агрегата от сторонних механизмов, повышенные требования к конструкционным материалам рабочих органов агрегата.

Анализирую вышеперечисленные варианты возможности нагружения двигателя для проведения испытаний, наиболее объективным, является вариант с использованием гидравлического торможения. Простота конструктива, а также невысокая себестоимость в производстве агрегата, возможность установить электрическое оборудование как отслеживающего характеристики, также дискретные органы управления с источником энергии от низкочастотной сети испытуемого двигателя, так и нагрузочного агрегата.

На сегодняшний день существуют готовые варианты нагрузочных элементов от импортных производителей [2]. Стоимость данных агрегатов в зависимости от опциональной комплектности различается, но также остаётся достаточно высокой, на фоне чего не все предприятия и организации, занимающийся ремонтом каких-либо двигателей, способны позволить данный агрегат, производство от отечественных производителей - не зафиксировано.

Для развития данной отрасли, необходимо разработать агрегат, который мог бы соответствовать оптимальной себе стоимостью производства, доступен для большего количество предпринимателей, соответствовал современной технологичности, а также безопасности использования, в конечном итоге, создать направления по производству и развитию на грузочных элементов в нашем государстве в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Магнитно-порошкового тормоз. URL: <https://www.prom-tex.org/catalog/ispitatelnye-stendy/motory-i-dvigateli/magnitoporoshkovyeyetormoza-dlya-ispytaniya-dvigatelay/> (дата обращения 05.03.2023)
2. Taylor Dynamometer. URL: <https://blms.ru/gidrotormoz> (дата обращения 05.03.2023)

ФРЕЗА ДОРОЖНАЯ С ГИБКИМИ РЕЖИЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Д.Е. Лапиев, Д.И. Трошин

Научный руководитель – **Д.И. Трошин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается актуальная проблема очистки дорог от наледи и уплотненного снега, при помощи специального фрезерного оборудования, установленного на мини-погрузчик.

Ключевые слова: наледь, фреза, оборудование, экскаватор

A ROAD MILLING CUTTER WITH FLEXIBLE CUTTING

D.E. Lapiev, D.I. Troshin

Scientific supervisor – **D.I. Troshin**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The actual problem of clearing roads from ice and compacted snow using special milling equipment installed on a mini loader is considered.

Keywords: ice, cutter, equipment, excavator

В зимний период наиболее актуальна проблема очистки проезжих частей и тротуаров от снежных скоплений и льда. В результате обильных осадков, перепадов температур и несвоевременной уборки, в течение зимнего периода образуется плотная, окристаллизованная снежная масса и гололед. Толщина этих образований может достигать до 0.25 м, они затрудняют передвижение пешеходов и транспортных средств. Исследования в этой области показали, что кроме снега и льда в этих наносах присутствуют примеси песка, реагентов и других твердых веществ. Уборка такой смеси становится весьма затруднительной, этот процесс требует больших материальных, временных, физических затрат.

Существуют различные методы борьбы с проблемой очистки пешеходных зон и проезжих частей, от снежно ледяных образований. На

автомобильных дорогах борьба с зимней скользкостью ведется в основном химическим и фрикционным способами. В первом случае распределяют химические противогололедные вещества, которые вызывают полное таяние снежно-ледяных отложений либо нарушают их прочность, после чего отложения разрушаются колесами автомобилей и легко удаляются снегоуборочными машинами. Во втором случае используют уменьшающие скользкость материалы, которые закрепляются на поверхности снежно-ледяных отложений, временно повышая коэффициент сцепления с ними колес автомобилей.

Но эти способы имеют свои недостатки, химические вещества ускоряют коррозию транспортных средств, а уменьшение скольжения материала может быть недостаточно эффективным. Поэтому необходимо рассматривать и механические способы удаления льда и снега с проезжих частей.

Существует различная классификация снежно ледяных образований на автодорогах. Виды снега и льда различаются по плотности, твердости и другим характеристикам. Пример такой классификации приведен в табл. 1. Разработанная полезная модель способна справиться с любым из приведенных снежных и ледяных образований.

Таблица 1. Классификация снежно ледяных образований

Виды снежного покрова	Плотность, кг/м ³	Твердость кг/см ³
Рыхлый свежевывапший снег	10-200	0,02
Рыхлый слабо уплотнённый снег	220-300	0,02-0,1
Уплотнённый снег	300-400	0,2-0,4
Старый, слежавшийся снег	480-520	0,4-0,5
Уплотненный накат	550-700	0,5-0,7
Лед	700-950	Более 0,7

Также разработано большое количество специализированной техники, которая способна разрушать слоистые снежно ледяные наносы. Но они не широко применяются в реальных условиях. В действительности, для решения данной проблемы, наиболее распространён ручной труд, пример приведен на рис. 1. Отсутствие специализированной техники у коммунальных служб, заставляет рабочих использовать, для облегчения труда, технику, не предназначенную для таких операций. Это негативно сказывается на состоянии дорожного прикрытие, и может привести к поломке рабочих органов неспециализированной техники.



Рис. 1. Уборка пешеходной зоны от снежно ледяных наносов

Наиболее эффективным, по нашему мнению, является способ фрезерования ледяного покрытия. Проанализировав множество различных способов очистки дорог и тротуаров от наледи, было рассчитано и спроектировано фрезерное оборудование с гибкими резцами, на базе мини экскаватора Komatsu PC 09, оно предназначено для очистки дорожного покрытия ото льда и наносов плотного снега. Если предварительно изменить конструкцию крепления, данное рабочие оборудование также можно устанавливать и на другие базовые машины. Фреза способна очищать автодороги и пешеходную зону, в зимний период механическим путем. Модель дорожной фрезы представлена на рис. 2.

Фреза приводится в движение гидромотором MBF10.2.28.01.03, который работает от гидролинии экскаватора. Крутящий момент от гидромотора передается на шестерню 2, после чего через шестерню 3 момент передается на вал 4, через шлицевое соединение приводится в движение крышка фрезы 5, далее вращение через 6 болтов М-12 переходит на корпус 6, к корпусу приварены крепежные элементы для резцов 7, механизм фрезерования, вращаясь, срезает лед, тем самым очищает дорожное покрытие. Резцы прикручиваются винтами к крепежам, в случае разрушения резца, его замена не займет много времени. Режущие элементы изготовлены из упругой стали 65Г-Х12МФ1, что позволяет им во время работы прижиматься к корпусу, тем самым не нанося вред дорожному покрытию. Частота вращения режущего оборудования 2496 об./мин. Пружина 8 обеспечивает амортизацию рабочего оборудования при неровностях дорожного покрытия, она защищена гофрированным кожухом, он предотвращает попадание грязи на рабочие элементы и защищает рабочих от осколков пружины в случае ее разрушения. Подшипники удерживают вал в корпусе фрезы, их смазка осуществляется через специаль-

ную пресс-маслёнку. Общая масса рабочего оборудования 130 кг. В случае необходимости можно увеличивать габариты фрезерного оборудования и ставить ее на другие базовые машины. Это повысит ее мощность и позволит увеличить производительность.

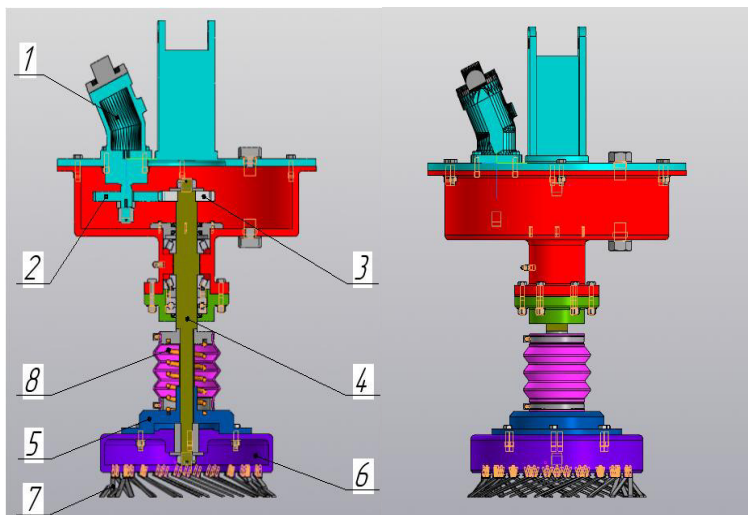


Рис. 2. Изображение дорожный фрезы

Данное фрезерное оборудование, позволит добиться качественного содержания автомобильных дорог и пешеходной зоны в зимнее время. Оборудование можно применять не только в городских условиях, но и на автомагистралях. Спроектированное оборудование поможет сократить затраты ресурсов на очистку улиц, а также затраты человеко-часов, так как для очистки наледи до сих пор используют ручной труд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абергауз В.Д.* Режущие органы машин фрезерного типа для разработки горных пород и грунтов. М.: Машиностроение, 1965. 280 с.
2. *Зеленин А.Н.* Основы разрушения грунтов механическим способом. М.: Машиностроение, 1968. 376 с.
3. *Алимов Д.Д.* Опыт использования баровых машин для резания льда / Д.Д. Алимов, И.Г. Басов, Ф.Ф. Зелингер // Строительные и дорожные машины. 1969. №2. С. 11.

УДК 621.867.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТЕРА ДЛЯ СТРУЖКИ КОЖ ХРОМОВОГО ДРОБЛЕНИЯ

Р.А. Малахов, Д.В. Фурманов

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

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются конструкции конвейерного оборудования, предложена конструкция ленточного транспортера для хромстружки, образующейся в кожевенном производстве

Ключевые слова: конвейер, лента, производительность, лоток, редуктор, подшипниковый узел

DESIGNING A CONVEYOR FOR CHIPS CHROME-TANNED LEATHER

R.A. Malahov, D.V. Furmanov

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

Yaroslavl State Technical University

The designs of conveyor equipment are considered, the design of a belt conveyor for chrome chips formed in the leather industry is proposed.

Keywords: conveyor, belt, productivity, tray, gearbox, bearing assembly

Конвейер (транспортер) – машина непрерывного действия, служащая для перемещения сыпучих, кусковых, штучных и других грузов. Конвейер широко используется на участках внутривозовского или внешнего транспорта, в составе перегрузочных устройств (мостовых перегружателей, отвалообразователей); в погрузочно-разгрузочных комплексах вместе с другими машинами; для перемещения грузов-изделий в поточном производстве по позициям, осуществляя в ряде случаев функции накопителей (подвижных складов) и распределителей изделий по другим технологическим линиям [1].

В кожевном производстве популярны ленточные конвейеры, используемые для перемещения готовых изделий, промежуточных продуктов и отходов производства.

При выравнивании по толщине (строгании) дубленного кожевеного полуфабриката образуется хромстружка, которая является перерабатываемым отходом (например, для изготовления удобрений) и направляется на вторичное производство для брикетирования (рис.1).



Рис. 1. Фотография производственного процесса

В рамках выполнения курсового проекта разработана конструкция ленточного конвейера (рис. 2) для транспортирования хромстружки в кожевном производстве. Производительность по хромстружке составляет 0,17 т/ч.



Рис. 2. Модель спроектированного конвейера

Конвейер ленточный включает в себя ленту резиноканевую типа-марки 4-500-1-БКНЛ-200-2-2-Б ГОСТ 20-85, приводную станцию, несущую металлоконструкцию, на которой на рабочей ветви смонтированы плоские опоры; на холостой ветви размешены прямые роликоопоры. Шаг рабочих опор 20 см, холостых 40 см. Движение груза осуществляется снизу вверх.

С целью избежания сползания ленты вследствие дефектов монтажа, неравномерности нагрузки и других непредвиденных особенностей эксплуатации на верхней ветви установлены центрирующие роликоопоры. Очистным устройством является подпружиненный скребок, расположенный под загрузочным бункером.

Приводной барабан, представленный на рис. 3, выполнен сварным, для улучшения сцепных свойств его поверхность футерована резиной толщиной 20 мм. Диаметр барабана 160 мм.

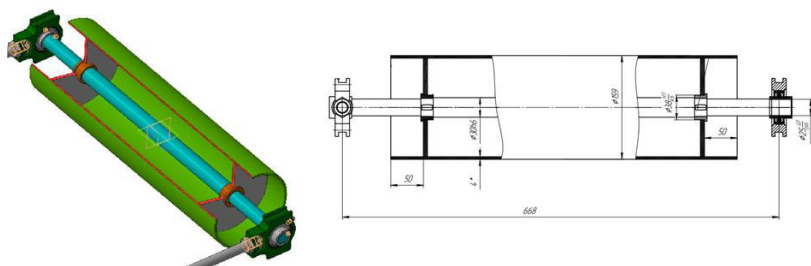


Рис. 3 Модель и эскиз приводного барабана

Опоры барабана установлены на сферических радиальных шариковых подшипниках 480205 (УСТ 205, рис. 4).



Рис. 4. Подшипниковый узел 480205 (УСТ 205)

Для обеспечения заявленной производительности на транспортер установлен червячный мотор-редуктор EV063, мощностью 0,75 кВт, массой 15 кг (рис. 5).

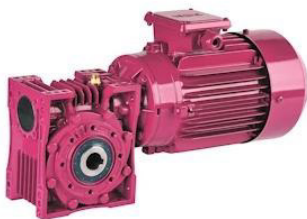


Рис. 5. Червячный мотор-редуктор EV063

Загрузка перемещаемого материала производится вручную через трапецевидный сварной загрузочный лоток (рис. 6).

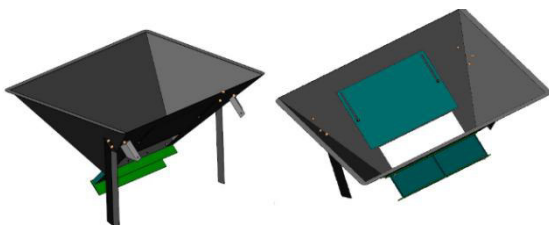


Рис. 4. Модель загрузочного лотка

Допускается регулировка подачи транспортируемого материала путем изменения размера щелевого отверстия в загрузочном лотке. Регулировка осуществляется вручную.

Транспортер установлен на сварной раме и крепится к ней шестью болтами М18. Устойчивость раме придают поперечные приваренные перекладины. Конструкция стационарна, не имеет транспортировочных колес, устанавливается на четырех прорезиненных опорах, исключающих скольжение и непроизвольное перемещение.

Транспортер пригоден для работы в условиях с повышенной влажностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортирующие машины: Атлас конструкций / О.А. Спиваковский, С.М. Бржезовский, В.К. Дьячков [и др.]. М.: Машиностроение, 1971. 115 с.
2. Расчет ленточного конвейера / сост.: А.А. Крайнов, А.Ю. Прусов; Яросл. гос. техн. ун-т. Ярославль, 1999. 36 с.

ПРИЖИМНОЕ УСТРОЙСТВО ВИЛОЧНОГО ПОГРУЗЧИКА

А.С. Маликов, Д.И. Трошин

Научный руководитель - **Д.И. Трошин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье представлен обзор исследований, связанных с факторами, снижающими эффективность использования виловых погрузчиков и предложен вариант решения одной из проблем. Разбор конструкции и описание образца оборудования так же представлено в настоящей работе.

Ключевые слова: *Навесное оборудование, виловый погрузчик, малогабаритный погрузчик, модернизация, прижимное устройство*

FORKLIFT CLAMPING DEVICE

A.S. Malikov, D.I. Troshin

Scientific Supervisor - **D.I. Troshin**, Candidate of Technical Sciences
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article provides an overview of studies related to factors that reduce the efficiency of forklifts and proposes a solution to one of the problems. Analysis of the design and description of the equipment sample is also presented in this paper.

Keywords: *Attached equipment, forklift, small loader, modernization, clamping device*

Погрузчик – это подъемно-транспортная машина для погрузки, разгрузки и складирования грузов с помощью специального навесного оборудования для погрузчиков.

Погрузчики выполняют следующие операции: захват груза, подъем, транспортирование, штабелирование, опускание и освобождение груза.

Первые прототипы вилового погрузчика представлены с начала XX века, и они постоянно модернизируются под различные задачи. Трудно представить современный склад без данной техники.

Однако, несмотря на всевозможные исследования и разработки за более чем 100 лет, виловый погрузчик можно и нужно модернизировать, так как реальность ставит перед нами новые задачи.

Проводя теоретически анализ исследований данного вопроса, я обратил внимание на проблемы, с которыми сталкиваются предприятия в использовании вилочного погрузчика [1-2]. Существенными недостатками, снижающими эффективность вилочных погрузчиков, являются: короткое базовое шасси, ограничивающее грузоподъемность; высокая динамическая нагруженность машины; жесткое, безрессорное крепление колес к раме; значительные ресурс- и энергозатраты на обеспечение бортового поворота; затрудненный и небезопасный вход в кабину оператора со стороны рабочего оборудования, снижающий эффективность эксплуатации машин; ограниченный срок службы шин и др. В числе прочих указывается вероятность падения неустойчивых и тяжелых грузов.

Для решения указанной проблемы мной предлагается модернизация рабочего органа машины путем добавления прижимного устройства к стандартной конструкции (рис. 1). Эта доработка позволит ограничить все степени свободы у перемещаемого груза, что исключает вероятность его падения при транспортировке.

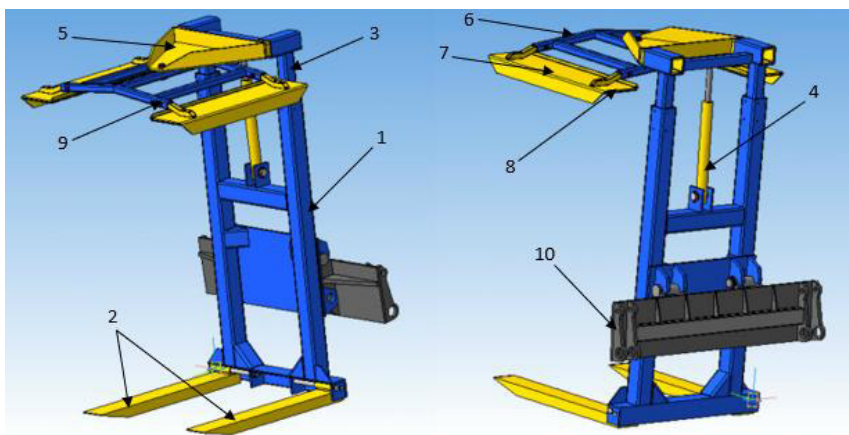


Рис. 1. Грузовые вилы с прижимом

Были разработаны грузовые вилы с прижимным устройством в качестве навесного оборудования к малогабаритному погрузчику. Конструкция оборудования представляет собой основную жёсткую сварную раму 1, к нижней части которой, посредством пальцевого соединения, прикреплены два грузозахватных приспособления в виде грузовых вилок 2. В верхнюю часть основной рамы вставляется выдвижная рама 3, выдвижение которой осуществляется с помощью гидроцилиндра 4. В выдвижную раму вмонтирован кронштейн прижима 5, к которому прикреплена

рама прижима 6. В раму прижима с двух сторон вмонтированы прижимные лапы 7 с возможностью регулировки вылета, которые и фиксируют груз. Прижимные лапы имеют накладки из вспененной резины 8 для упругого контакта с транспортируемым грузом. Вылет прижимных лап регулируется с помощью перестановки пальцев 9 в отверстиях в раме прижима. Оборудование монтируется на погрузчик с помощью коннектора 10. Такая конструкция грузовых вилок позволяет перемещать грузы с большей транспортной скоростью без риска опрокидывания груза, делая перемещение безопасным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Минин В.В.* Концепция повышения эффективности универсальных малогабаритных погрузчиков. М.: Инфра-М, 2020.
2. Инновационная наука: международный научный журнал. URL: <https://aeterna-ufa.ru/events/in?ysclid=lg3kbue5rr107435732>

УДК 621.7

ПАРАМЕТРИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ ШНЕКА С ИЗМЕНЯЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Г.С. Малов

Научный руководитель – **Ю.Г. Попов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматривается шнек экструдера, его основные составляющие. Предлагается создание параметризованной модели шнека экструдера с изменяемыми параметрами в программе Компас-3D.

Ключевые слова: шнек, экструдер, параметризация, изменяемые параметры, конструкторская документация

PARAMETRIZED AUGER MODEL WITH VARIABLE PARAMETERS

G.S. Malov

Scientific Supervisor – **Y.G. Popov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article discusses the extruder screw, its main components. It is proposed to create a parameterized model of the extruder screw with variable parameters in the Compass-3D program.

Keywords: screw, extruder, parameterization, changeable parameters, design documentation

Шнек (от нем. Schnecke, букв. – «улитка») – это стержень со сплошной винтовой поверхностью вдоль продольной оси. Он является основным рабочим механизмом, который используется в экструзионных установках и несет основную нагрузку, подготавливая полимерную массу для дальнейшей работы с ней. Шнек экструдера может применяться в механизме разметочной машины для нанесения дорожной разметки термопластиком.

На рис. 1 представлены основные составляющие шнека экструдера, на рис. 2 – барьерная зона шнека.



Рис. 1. Основные составляющие шнека экструдера [1]

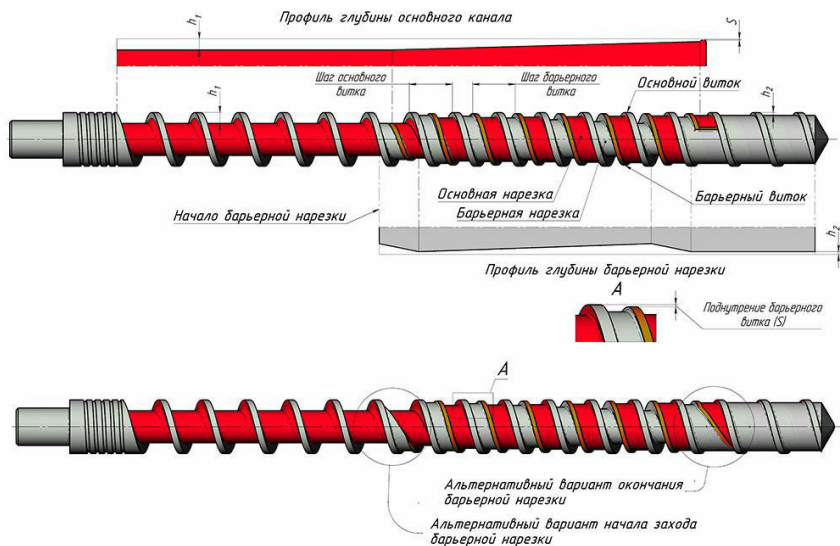


Рис. 2. Барьерная зона шнека [1]

Шнек состоит из следующих зон: хвостовик, зона уплотнения, основные витки, барьерная зона шнека, технологические разрывы, барьерная зона смешивания и зона смешивания. В некоторых шнеках в зависимости от назначения могут отсутствовать технологические разрывы и вышеперечисленные зоны. На некоторых шнеках зона уплотнения может иметь сгонную канавку, она имеет такое же направление, как и гребни шнека.

Барьерная зона шнека состоит из двух витков: основного и заниженного относительно предыдущего. Она служит для задерживания нерасплавленных гранул с целью улучшения гомогенизации материала. Заниженный виток выступает в качестве барьера для гранулы: она замедляет свое движение и под действием температур расплавляется.

Гребни бывают с разным шагом, имеют разную высоту, ширину, скругление в основании, могут иметь наклонную поверхность, угол наклонной поверхности отличается от ненаклонной поверхности.

Барьерная зона смешивания характерна многозаходной спиралью и заниженным витком. Эта зона также служит для гомогенизации материала. Обычно она расположена в середине или в концешнека.

Зона смешивания нужна для качественного перемешивания материала и может располагаться как в конце, так и в середине шнека.

Моделирование шнека – трудоемкий процесс. Наиболее сложной для моделирования частью является рабочая зона шнека, представляющая собой сложной комбинацию поверхностей и взаимосвязанных элементов. Для оптимизации затрачиваемого времени было предложено создать параметризованную модель рабочей зоны шнека экструдера, которая поможет автоматизировать создание проектной документации. Остальные части шнека можно моделировать отдельно и пристыковывать к модели рабочей зоны. Трехмерная модель создается в программе «Компас-3D», ей задаются основные изменяемые параметры, которые в любой момент можно отредактировать. При создании нового шнека в файле задаются необходимые параметры, и трехмерная модель автоматически трансформируется под них.

Первоначально необходимо создать шаблон файла и простроить исходную 3D-модель рабочей зоны шнека экструдера. Зона основной нарезки часто выполняется переменным шагом, для чего в Компас-3D приходится создавать направляющий профиль с помощью кривой по формуле:

Для корректного параметризованного моделирования шнека были выведены следующие формулы:

- формула участка спирали длиной L с постоянным шагом S в прямоугольной системе координат:

$$x(t) = R * \sin\left(2\pi * t * \left(\frac{1}{S}\right)\right), \quad (1)$$

$$y(t) = R * \cos\left(2\pi * t * \left(\frac{1}{S}\right)\right), \quad (2)$$

$$z(t) = t, \quad (3)$$

где R – радиус спирали; t – переменная длины участка спирали, изменяющаяся от 0 до L ; S – шаг спирали;

- формула участка спирали длиной L с шагом, меняющимся от S_0 до S_1 в прямоугольной системе координат:

$$x(t) = R * \sin\left(2\pi * \left(\int f(t)dt\right)\right), \quad (4)$$

$$y(t) = R * \cos\left(2\pi * \left(\int f(t)dt\right)\right), \quad (5)$$

$$z(t) = t, \quad (6)$$

$$f(t) = \frac{1}{S_0 + (S_1 - S_0) * (t/L)}, \quad (7)$$

где S_0 – начальный шаг спирали; S_1 – конечный шаг спирали; $f(t)$ – функция шага от длины.

Данные формулы заносятся в шаблон файла. Соответственно, при создании рабочей зоны конкретного шнека достаточно задать его основные параметры, а затем программа с помощью выше указанных формул сможет просчитать необходимые данные и скорректировать 3D-модель.

Параметризованная модель рабочей зоны шнека экструдера позволяет быстро менять ключевые параметры, получая различные размеры и типы шнеков. Кроме того, варьирование параметров и управления ими из внешнего расчетного приложения позволяет провести оптимизацию геометрических параметров шнека на основе соответствующей математической модели его работы и алгоритмов оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шнеки. URL: <https://samaks.ru/shneki.html> (дата обращения: 15.03.2023).
2. Раувендааль К. Основы экструзии. СПб.: Профессия, 2011. 280 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ЗУБЬЕВ ДОРОЖНОЙ ФРЕЗЫ

Д.В. Полетаев, Д.В. Фурманов

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

Ярославский государственный технический университет

В статье показаны проблемы прогнозирования нагрузок на рабочие органы дорожных фрез. Отмечается, что величина этих нагрузок зависит не только от прочностных и температурных показателей асфальтобетона, но и от степени износа режущих элементов. Описана методика проведения экспериментального исследования режущих свойств зубьев дорожной фрезы и приведены некоторые результаты исследования.

***Ключевые слова:** асфальтобетон, фреза дорожная, режущий элемент, сила сопротивления резанию, маятниковый стенд*

INVESTIGATION OF THE CUTTING PROPERTIES OF THE TEETH OF A ROAD MILLING CUTTER

D.V. Poletaev, D.V. Furmanov

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

Yaroslavl State Technical University

The article shows the problems of predicting the loads on the working bodies of road cutters. It is noted that the magnitude of these loads depends on not only the strength and temperature parameters of asphalt concrete, but also on the degree of wear of the cutting elements. The method of conducting an experimental study of the cutting properties of the teeth of a road milling cutter is described and some results of the study are presented.

***Keywords:** asphalt concrete, road milling cutter, cutting element, cutting resistance force, pendulum stand*

Дорожные фрезы уже стали неотъемлемой частью технологии ремонта дорожных покрытий. Их можно встретить в период ремонтных работ повсеместно и без них не обойтись. Примечательно, что в тяжелый период для России поставка новых дорожных фрез и запчастей к ним

были полностью прекращены и вопросы исследования работы, проектирования и изготовления этих машин на сегодняшний день встали особенно остро.

Проектирование любой машины неизбежно начинается с определения нагрузок на рабочий орган. Нагрузки определяют требуемую мощность двигателя, массу машины и размещение основных агрегатов.

Определение нагрузок на режущие элементы дорожной фрезы сопряжено с рядом трудностей, ведь фактические силы сопротивления резанию напрямую зависят от типа асфальтобетона (а точнее от марки, прочности и фракционного состава его основных компонентов, качества битума), его температуры, глубины срезания стружки и способа размещения режущих элементов. Силы сопротивления резанию для новых режущих элементов изучены для основных типов асфальтовых бетонов [1, 2]. Однако не всегда режущие элементы работают как новые. В процессе износа существенно изменяется геометрия контакта зуба дорожной фрезы, что обуславливает изменение сил сопротивления резанию и, как следствие, новые режимы работы машины.

С целью определения сил сопротивления резанию был разработан маятниковый стенд (рис. 1), основой которого является маятник, подвешенный на оси рамы.

Работа стенда опирается на закон сохранения энергии. Из закона следует, что изменение кинетической энергии механической системы при некотором её перемещении будет равно сумме работ всех сил, приложенных к точкам системы на перемещение этих точек.

$$K - K_0 = \sum A_j, \quad (1)$$

где K – кинетическая энергия, начала процесса резания, Дж;

K_0 – кинетическая энергия в момент выхода резца из зоны резания, Дж.

Среднее значение горизонтальной составляющей силы сопротивления резания определим по замеренному значению длины пути:

$$F_{\text{ср}} = \frac{A}{S}, \quad (2)$$

где S – путь, пройденный режущим элементом, мм.

В настоящей методике путем, который прошел режущий элемент, считается длина канавки, проделанная режущим элементом в образце асфальтобетона.



Рис. 1. Маятниковый стенд:

- 1 – стойка; 2 – растяжка; 3 – рычаг; 4 – лимб;
5 – регулируемый рычаг; 6 – система рычагов

В результате эксперимента получены графики (рис. 2). Как можно наблюдать на графиках, при изменении степени износа имеет место существенное изменение сил сопротивления резанию.

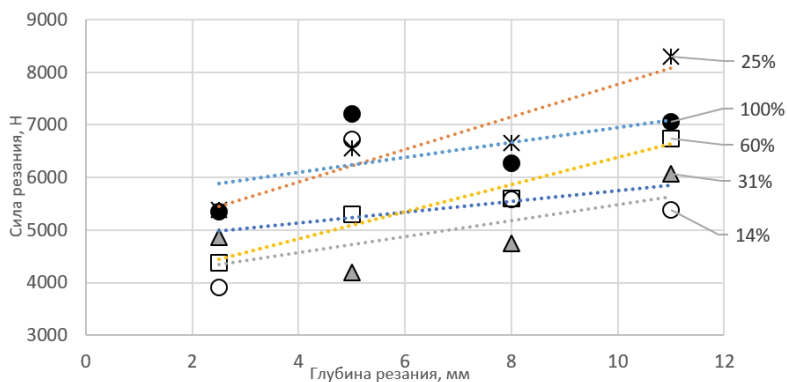


Рис. 2. Графики зависимости сил сопротивления резания режущими элементами дорожной фрезы с различной степенью износа

Таким образом, в ходе эксперимента удалось получить численные значения сил сопротивления резания на асфальтобетоне марки ЩМА-16 [3] при температуре 20 °С. Указанные значения могут быть использованы при прогнозировании нагрузок на рабочие органы дорожных фрез как на этапе проектирования, так и в ходе эксплуатации оборудования.

На основе указанных графиков можно прогнозировать изменение производительности и энергоэффективности дорожных фрез с учетом ресурса режущих элементов. Возможно также экономическое обоснование необходимости замены режущих элементов в зависимости от их износа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шамахов Л.М.* Особенности использования маятникового стенда для изучения процессов резания дорожно-строительных материалов / Л.М. Шамахов, Н.Э. Лысаков // *Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных, Омск, 10–11 февраля 2022 года.* Омск: Сибир. гос. автомобильно-дорож. ун-т (СибАДИ), 2022. С. 38-42.
2. *Furmanov D.V.* Effect of asphalt concrete strength properties on energy intensity of milling / D.V. Furmanov, N.E. Lysakov, L.M. Shamahov // *Journal of Physics: Conference Series.* IOP Publishing, 2021. Т. 1901, № 1. С. 012086.
3. ГОСТ Р 58406.2-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси горячие асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия.

**ПРЕДПОСЫЛКИ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ УГЛА
УСТАНОВКИ РЕЖУЩЕГО ЭЛЕМЕНТА
НА СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗАНИЯ
АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

И.В. Ромашкин, Н.Э. Лысаков

Научный руководитель - **Н.Э. Лысаков**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

В данной статье представлен анализ работ по резанию асфальтобетонных покрытий, рассмотрены различные варианты установки режущего элемента, сделаны выводы на основе рассуждений.

Ключевые слова: фреза дорожная, асфальтобетон, угол резания, сила сопротивления резанию, измерительный комплекс

**PREREQUISITES FOR DETERMINING THE INFLUENCE
OF THE ANGLE OF INSTALLATION OF THE CUTTING
ELEMENT ON THE CUTTING RESISTANCE FORCES
OF ASPHALT CONCRETE COATINGS**

I.V. Romashkin, N.E. Lysakov

Scientific Supervisor - **N.E. Lysakov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

This article presents an analysis of the work on cutting asphalt concrete pavements, various options for installing the cutting element are considered, conclusions are drawn based on reasoning.

Keywords: road milling cutter, asphalt concrete, cutting angle, cutting resistance force, measuring complex

В нынешнее время восстановление дорожного полотна, является актуальной проблемой во многих регионах нашей страны. Для решения этой проблемы используют дорожные фрезы с современным методом холодного фрезерования. Выбор конструкции фрезерного барабана невозможен без обоснования используемого типа и количества режущих элементов, а также его основных параметров, таких как производительность, нагрузка на режущих элементах, величина подачи и частоты вращения фрезерного барабана.

Мир не стоит на месте и с каждым годом появляются все более прочные составы дорожных покрытий и требуется все более производительная техника, поэтому необходимо постоянное изучение процессов резания материала для проектирования новых и модернизации существующих фрезерных дорожных машин.

На сегодняшний день в открытых источниках были найдены статьи, посвященные исследованию процесса фрезерования асфальтобетонных покрытий, с подробными теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Одним из первых кто подробно рассмотрел процессы сопротивления резания прочных дорожно-строительных материалов, был А.М. Холодов. В своей работе [1] он провел большое количество экспериментов по взаимодействию материала с режущим оборудованием. Полученные результаты послужили началом для разработки методик по проектированию фрезерного оборудования.

В работе [2] была проведена серия опытов, направленная на определение зависимости сил сопротивления резанию от толщины срезаемой стружки. После проведения экспериментов было определено то, что зависимость динамического коэффициента от толщины срезаемой стружки имеет слабый характер, а все потому что асфальтобетон – это композитный материал с неоднородной структурой.

Также в похожих исследованиях [3] определялась зависимость показателя прочности асфальтобетона от температуры. Из этой работы можно сделать вывод, что силы сопротивления резанию уменьшаются с повышением температуры разрабатываемого материала.

Авторы работы [4] теоретически определили, что увеличение линейной скорости подачи фрезы приводит к прямо пропорциональному увеличению суммарного сопротивления резанию. Из этого последовало, что увеличение угловой скорости снижает величину суммарного сопротивления фрезерованию.

Во всех этих работах не была затронута тема изменения угла установки резца на фрезерном рабочем органе. Мы предположили, что значение установки режущего элемента может повлиять на изменение сил сопротивления резанию, поэтому необходимо дополнить предыдущие исследования в этой области и провести серию экспериментальных исследований.

Угол установки резца может изменяться от нуля, соответствующий положению касательной к окружности, до девяноста градусов (рис. 1). Как видно из рисунка с увеличением угла установки резца, при условии, что длина резцов остается неизменной, увеличивается и рабочий диаметр фрезерного барабана. Это может послужить для увеличения линейной скорости крайней точки режущего элемента, что приведет к увеличению силы сопротивления резанию.

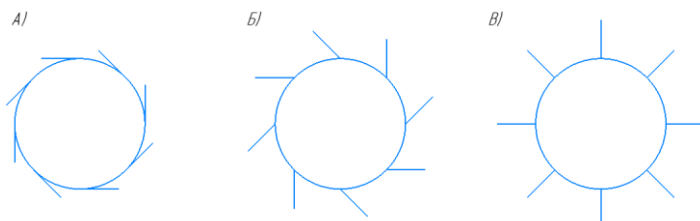


Рис. 1. Положения резцов на фрезерном барабане:
 А - под углом 0° , Б - под углом 45° , В - под углом 90°

Также угол установки режущего элемента может повлиять на изменение горизонтальной и вертикальной составляющей силы резания, что в свою очередь изменит динамические нагрузки на резцедержатель и фрезерный барабан. Кроме того, изменится ударная точка резца, что может повлиять на его износ, так как он может быть разработан только под определенный угол установки.

Исходя из этого в зависимости от угла установки резца требуется проектирование и изготовление новых видов режущих элементов и резцедержателей, поскольку не существует универсального решения способного воспринимать все получаемые нагрузки в различных углах установки, для фрезерного барабана, а также проведение опытов, позволяющих определить оптимальное соотношение угла резания от силы сопротивления резанию материала.

Таким образом, продолжение данной работы сможет дополнить и обновить уже проработанные исследования и поможет обосновать выбранные параметры установки режущего элемента при проектировании новых дорожных фрез и модернизации существующих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Холодов А.М.* Теоретическое выражение сопротивления грунта лобовому резанию широким плоским ножом // Горные, строительные и дорожные машины. 1965. Вып. 1. С. 16-18.
2. *Фурманов Д.В.* Исследование динамики рабочего процесса фрезерования / Д.В. Фурманов, Н.Э. Лысаков, Л.М. Шамахов // Пром-инжинеринг: тр. VII всерос. науч.-техн. конф. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2021. С. 33-37.
3. *Николаев В.А.* Асфальтобетон – как объект разрушения рабочими органами фрезерных машин фрезерования / В.А. Николаев, Д.В. Фурманов, Н.Н. Клочко // Пром-инжинеринг: тр. V всерос. науч.-техн. конф. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2019. С. 146-149.
4. *Селиверстов Н.Д.* Определение работы фрезерно-смесительных агрегатов дорожных фрез и гибридных машин в заданных условиях эксплуатации / Н.Д. Селиверстов, Д.А. Макарова // Транспортное горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2018. № 1. С. 33-37.

УДК 629.1.03

О ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЗАДНЕЙ ПОДВЕСКИ СНЕГОХОДА

И.А. Румянцев, И.С. Тюремнов

Научный руководитель – **И.С. Тюремнов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается актуальная проблема необходимости моделирования динамики задней подвески снегохода.

Ключевые слова: *снегоход, задняя подвеска, динамические нагрузки*

ABOUT THE TASK OF MODELING THE DYNAMICS OF THE REAR SUSPENSION OF A SNOWMOBILE

I.A. Rumyantsev, I.S. Tyuremnov

Scientific Supervisor – **I.S. Tyuremnov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The actual problem of the necessity of modeling the dynamics of the rear suspension of a snowmobile is considered.

Keywords: *snowmobile, rear suspension, dynamic loads*

В наше время гусеничная техника широко используется в различных отраслях на территории нашей страны. Обладая такими преимуществами, как большая площадь сцепления с грунтом, повышенная проходимость и меньшая пробуксовка, гусеничный движитель во многих аспектах превосходит колесный.

Важным видом транспорта для жителей северных регионов страны, в том числе важным для освоения крайнего Севера является снегоход.

В соответствии с ГОСТ 34066–2017 «Снегоходы. Технические требования и методы испытаний», снегоход представляет собой механическое наземное самодвижущееся транспортное средство, предназначенное для передвижения вне дорог преимущественно по снегу, имеющее собственную массу не более 450 кг, сиденье с мотоциклетной посадкой и

руль мотоциклетного типа, не имеющее кабины закрытого типа или элементов, образующих каркас безопасности вокруг водителя и пассажира, приводимое в движение с помощью гусениц (гусеницы) и управляемое с помощью лыжи (лыж), находящихся в контакте со снегом.

История снегоходной техники начинается с 1916 года. Именно тогда в США был выдан первый патент на изобретение транспортного средства, у которого спереди были лыжи, а сзади гусеница. Однако производство этих машин так и не началось. В России производство снегоходов началось в 70-х годах. Уже в 1971 году с конвейера предприятия НПО «Сатурн» (в настоящее время АО «Русская механика») сошел первый снегоход «Буран» (рис. 1). В 1972 году началось их серийное производство и до конца 1972 года выпустили 100 серийных машин [1].



Рис 1. Первый серийный образец «Бурана» [1]

На первые образцы снегохода устанавливались 18-сильные двигатели от мотоцикла ИЖ-Юпитер-3 вместе с 4-ст. механической КПП и резиновой гусеницей от транспортёрной ленты. Испытания показали, что мощности мотоциклетного мотора недостаточно, он перегревался. Также отсутствовала возможность движения задним ходом. Стала ясна необходимость применения бесступенчатой трансмиссии. Новый двигатель получил маркировку РМЗ-640 и развивал мощность 27 л.с. Трансмиссия была разработана с нуля и получила клиноременный вариатор с коробкой реверса [1].



Рис. 2. Модель снегохода Taiga Ekko [2]

В 1973 году снегоход был поставлен на конвейер. Первая партия из 200 выпущенных снегоходов была передана в сельскохозяйственные организации Крайнего Севера для испытаний в производственных условиях: Всего в 1973 году выпустили 1 тыс. снегоходов, в 1974 году - свыше 2,5 тыс. снегоходов этого типа [1].

Новым этапом в развитии снегоходов стало появление моделей на электрической тяге. Использование такой техники перспективно на горнолыжных курортах, где бензиновые модели вследствие ограниченного содержания кислорода в воздухе не могут работать на полную мощность. Такого недостатка лишены модели с электродвигателем.

Одним из производителей электроснегоходов является Канадская компания «Taiga». Компания «Taiga» разработала первый в мире электрический внедорожный снегоход. Независимо от высоты местности над уровнем моря, их модель Ekko (рис. 2) бесшумно преодолевает горные вершины с максимальной мощностью до 135 кВт (180 л.с.), крутящим моментом 170 Нм от нуля до 7600 об./мин и максимальной скоростью 130 км/ч при 9000 об./мин [2].

С каждым годом совершенствования снегоходная техника приобрела много изменений в конструкции (рис. 3). Появлялись новые требования к проходимости, скорости и управляемости. Добиться необходимых результатов в повышении скорости и управляемости можно за счет применения более легких материалов, а также изменениями конструкции снегохода, что неблагоприятно сказывается на прочности. Потребовалось более точное моделирование динамических нагрузок на снегоход при движении на различных скоростях по пересеченной местности.

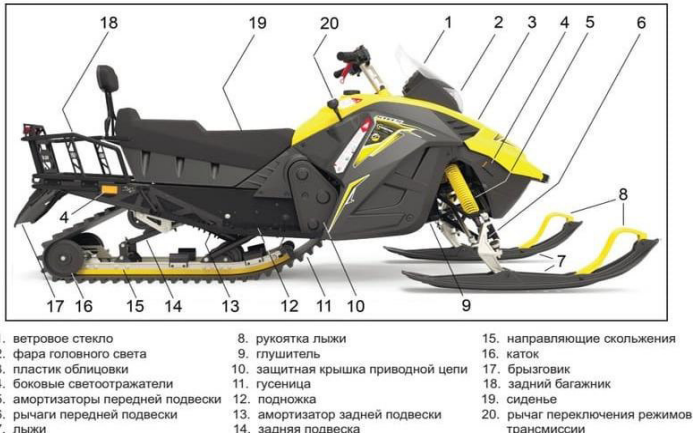


Рис. 3. Общее устройство современного снегохода

Для определения оптимальных параметров подвески и учета динамических нагрузок можно использовать программу «Универсальный механизм» с модулем UMTrackedvehicle. Модуль UMTrackedvehicle разработан для автоматизации процесса создания моделей гусеничных машин и анализа их динамики (рис. 4).

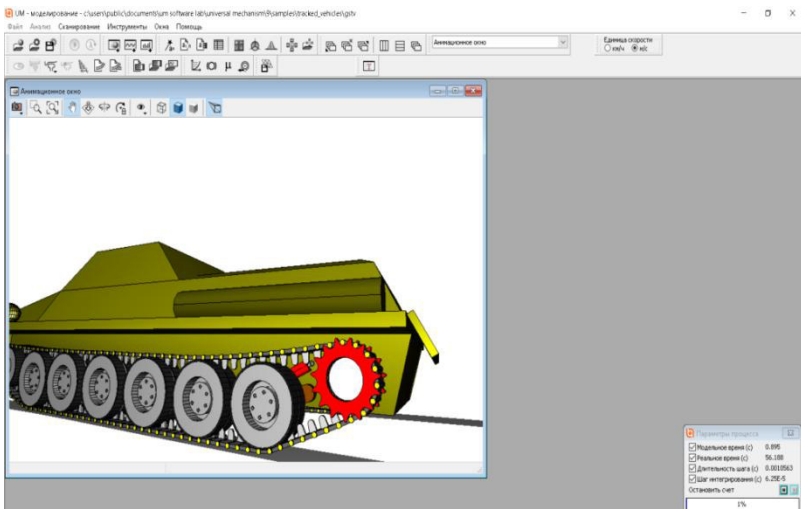


Рис. 4. Пример моделирования движения гусеничного вездехода с модулем UMTrackedvehicle [3]

Он содержит следующие инструменты:

- автоматический генератор гусеничного движителя с помощью библиотеки основных компонент;
- возможность расширения пользователем библиотеки компонент;
- динамический анализ гусеничных машин с использованием набора тестов.

Данное программное обеспечение позволит получить оптимальные параметры амортизатора и угол наклона задней подвески снегохода [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АО «Русская механика». URL: https://go-rm.ru/rm_history_1970-1974.html (дата обращения: 16.03.2023).
2. Снегоходы «Taigamotors». URL: <https://www.taigamotors.com/products/ekko> (дата обращения: 14.03.2023).
3. Программное обеспечение «Универсальный механизм». URL: <http://www.umlab.ru/> (дата обращения: 14.03.2023)

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ДОРОЖНЫХ ФРЕЗ

А.В. Рыженьков, Л.М. Шамахов

Научный руководитель - **Л.М. Шамахов**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

В данной работе рассматриваются дорожные фрезы и существующие вариации их конструкций. Приведен анализ основных характеристик дорожных фрез, представленных на рынке, а также примеры путей повышения эффективности дорожных фрез.

***Ключевые слова:** фреза дорожная, режущий элемент, фрезерование асфальтобетона, фрезерный барабан*

PREREQUISITES FOR THE CREATION OF COMBINED ROAD CUTTERS

A.V. Ryzhenkov, L.M. Shamakhov

Scientific Supervisor – **L.M. Shamakhov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

In this paper, road cutters and existing variations of their designs are considered. The analysis of the main characteristics of road milling cutters presented on the market, as well as examples of ways to improve the efficiency of road milling cutters.

***Keywords:** road milling cutter, cutting element, asphalt concrete milling, milling drum*

В наши дни, в связи с регулярными работами по прокладке новых дорог и ремонтом старых дорожных покрытий, используется большое количество машин различного типа, одними из которых являются дорожные фрезы. Дорожная фреза – это машина, предназначенная для послойного удаления твёрдых асфальтобетонных покрытий с целью дальнейшего ремонта или реконструкции. В свою очередь дорожные фрезы можно классифицировать по конструкции барабанов, используемых резцов и назначению на черновые, стандартные, чистовые и микрофрезерные.

Важными характеристиками для дорожной фрезы являются: ширина и глубина фрезерования, диаметр фрезерного барабана, типы рез-

цов, расстояние между резцами и т.д. Все эти характеристики регламентируются стандартом ГОСТ 31556-2012 [1] и смежными документами. В своей работе А.В. Гришин и А.И. Михальцов [2] перечислили несколько производителей дорожных фрез и сделали вывод, что большая часть производителей дорожных фрез иностранные, несмотря на постоянно развивающийся рынок. Вместе с тем авторы говорят о том, что самым слабым звеном фрезерного барабана является режущий элемент.

Авторы работы [3] приводят примеры путей повышения эффективности рабочих органов дорожных фрез, как в области совершенствования конструкции, так и совершенствовании режимов эксплуатации. Так, например, в фирме *Womag* выпускаются дорожные фрезы с тремя переключаемыми режимами работы, что позволяет увеличить производительность, снизить расход топлива и износ резцов.

В своём патенте [4] автор Кристиан Бернинг, предложил способ измерения глубины фрезерования дорожной фрезой. Данное решение направленно на повышение точности измерения глубины фрезерования во время работы дорожной фрезы и уменьшение отклонений от заданной глубины фрезерования. Изобретение предусматривает, что одно измерительное средство определяет подъем первого сенсорного датчика, лежащего на земле или дорожном покрытии, и опускание второго сенсорного датчика на дно фрезерной дорожки, при этом подъем или опускание фрезы осуществляется на соответствующую заданную глубину фрезерования.

Еще один способ повышения эффективности предложил Олаф Гертнер [5]. Суть решения заключаться в том, что подаваемое количество охлаждающей жидкости регулируется в зависимости от параметра, характеризующего выходную мощность фрезерного устройства. Это изобретение предотвращает чрезмерное использование охлаждающей жидкости. Вследствие чего возможно избежать ненужных остановок на дозаправку баков охлаждающей жидкостью. Также возможно уменьшить вес рабочей машины.

Проведя анализ существующих фрезерных машин (рис. 1), а также обзор исследований, мы пришли к выводу, что для проектирования навесной дорожной фрезы будем использовать следующие исходные характеристики: ширина фрезерования 500 мм, глубина фрезерования 140 мм, что является более выигрышными параметрами по сравнению с аналогами.

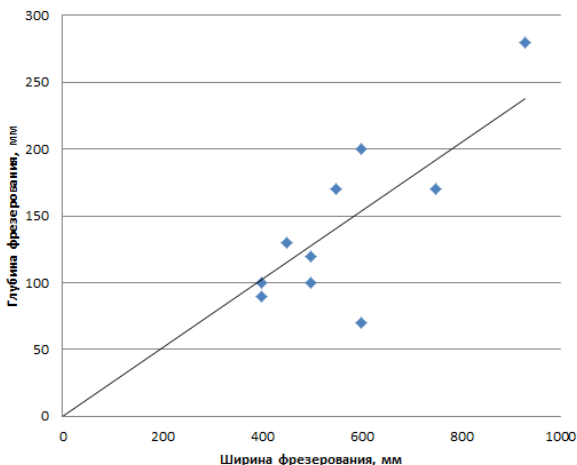


Рис. 1. График зависимости глубины фрезерования от ширины для навесных дорожных фрез разных производителей

Вместе с тем, с целью увеличения эффективности работы фрезерной машины, мы предполагаем, что конструкция навесной комбинированной дорожной фрезы будет более производительней (рис. 2).

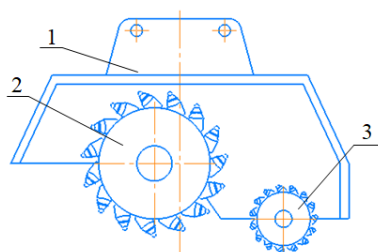


Рис. 2. Схема навесной фрезы с двумя фрезерными барабанами:

- 1 – рама;
- 2 – стандартный фрезерный барабан;
- 3 – чистовой фрезерный барабан

Установка стандартного и чистового фрезерных барабанов одновременно (рис. 3), может сделать ее более универсальной. Это решение даст возможность последовательно выполнить черновой и чистовой срез асфальтобетона, при этом не тратя времени на смену оборудования, тем самым повышать производительность процесса фрезерования асфальтобетона.

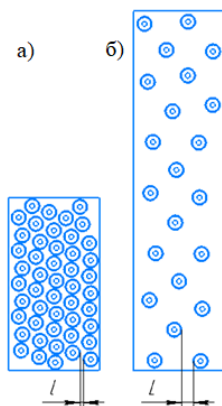


Рис. 3. Схема расположения режущих элементов:
 а – чистовой фрезерный барабан; б – стандартный фрезерный барабан

Таким образом, мы предполагаем, что предложенная нами конструкция комбинированной дорожной фрезы будет более производительной и менее энергозатратной по сравнению с существующими на рынке альтернативами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 31556-2012. Фрезы дорожные холодные самоходные. Общие технические условия.
2. Гришин А.В. Анализ дорожных фрез холодного типа / А.В. Гришин, А.И. Михальцов // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях: материалы междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 23–25 сентября 2021 года. Белгород: Белгород. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова, 2021. С. 55-62.
3. Кузнецова В.Н. Пути повышения эффективности рабочих органов дорожных фрез / В.Н. Кузнецова, И.С. Кузнецов // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: Электронный ресурс, Омск, 07–09 декабря 2016 года. Омск: Сибирская гос. автомобильно-дорож. Акад. (СибАДИ), 2016. С. 364-368.
4. Патент № 9879390В2 США, МПК E01C 23/088. Дорожно-фрезерный станок и способ измерения глубины фрезерования / Кристиан Бернинг, Дитер Симонс; опубл. 30.01. 2018.
5. Патент № 10550530В2 США, МПК E01C 23/088. Способ оптимизации процесса резания на дорожно-фрезерных станках, а также фрезерный станок для обработки дорожного покрытия / Олаф Гертнер, Дитер Симонс; опубл. 04.02.2020.

БУЛЬДОЗЕРНЫЙ ОТВАЛ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

А.В. Серебряков, Н.Е. Тарасова

Научный руководитель – **Н.Е. Тарасова**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается область применения отвалов с изменяемой геометрией для уборки территорий, их конструкция и основные этапы проектирования.

***Ключевые слова:** бульдозерный отвал, отвал с изменяемой геометрией, бульдозер*

BULLDOZER BLADE WITH VARIABLE GEOMETRY

A.V. Serebryakov, N.E. Tarasova

Scientific supervisor – **N.E. Tarasova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The scope of application of dumps with variable geometry for cleaning territories, their design and the main stages of design are considered.

***Keywords:** bulldozer blade, variable geometry blade, heavy machinery, bulldozer*


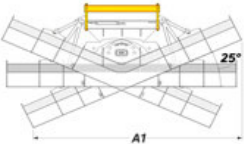
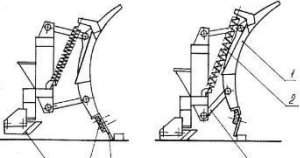

Бульдозерные отвалы с изменяемой геометрией предназначены для выполнения задач, связанных с уборкой и подготовкой территорий. Они обеспечивают быструю, удобную очистку от снега, мусора и разработку легких грунтов. При этом снижается время выполнения операций и эксплуатационные расходы.

Основными характеристиками, определяющими область применения бульдозера с навесным оборудованием, являются тип базовой машины, тип рабочего органа, класс тяги, тип грунта [1].

В зависимости от типа рабочего органа, оборудование также делят на поворотные и неповоротные отвалы.

Отвалы с изменяемой геометрией разделяют на типы, указанные в табл. 1.

Таблица 1. Классификация отвалов с изменяемой геометрией

	<p>V – образный отвал</p>
	<p>Поворотный отвал</p>
	<p>Отвал с изменяемым углом наклона</p>
	<p>Трехсекционный отвал</p>

В рамках данной работы был проведен анализ существующих типов отвалов с изменяемой геометрией и выбрана оптимальная конструкция для расчистки территорий от легких грунтов, рыхлого и влажного снега. При помощи программы КОМПАС 3D был спроектирован отвал с изменяемой геометрией, представленный на рис. 1.

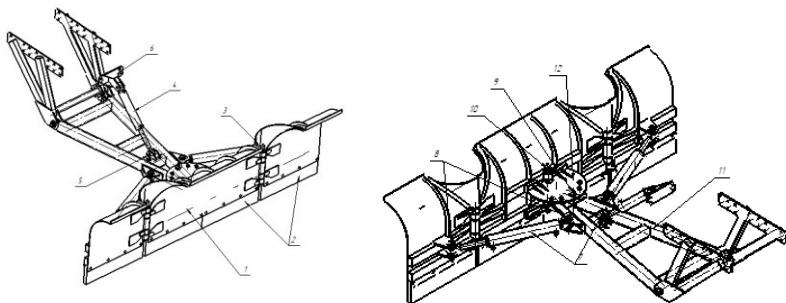

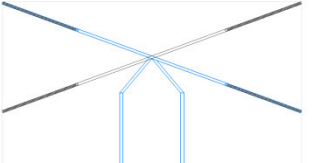
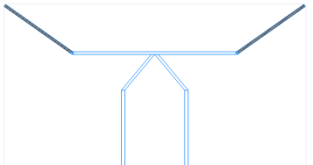
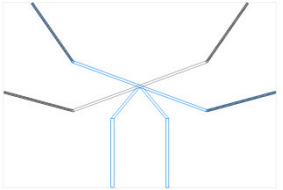
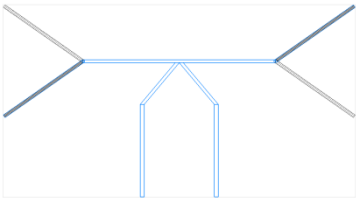


Рис. 1. Конструкция отвала с изменяемой геометрией

Отвал с изменяемой геометрией состоит из трехсекционного отвала 1 со съемными насадками 2. Секции отвала соединены пальцами 3 для возможности поворота боковой секции отвала относительно средней секции. Поворот боковых секций обеспечивается гидроцилиндрами 7. Отвал крепится на раму 11. Подъем и опускание отвала обеспечивается гидроцилиндром 4, закрепленным с помощью пальца 5. Средняя секция отвала 1 устанавливается в пяти фиксированных положениях относительно рамы 11 с помощью пластины 12 и пальца 9.

В качестве базовой машины для установки отвала с изменяемой геометрией использован трактор МТЗ-82. Схемы возможных положений данного отвала приведены в табл. 2.

Таблица 2. Возможные положения отвала с изменяемой геометрией

	<p>1 положение. Прямой отвал (для уборки больших и широких территорий)</p>
	<p>2 положение. Прямой повернутый отвал (для уборки дорог)</p>
	<p>3 положение. Отвал с выдвинутыми боковыми секциями (с увеличенной призмой волочения, для уборки более узких территорий)</p>
	<p>4 положение. Повернутый отвал с выдвинутыми боковыми секциями</p>
	<p>5 положение. Z – образная форма</p>

Важным этапом проектирования отвала с изменяемой геометрией является расчет на прочность. У данного отвала не стандартная призма волочения, схема приведена на рис. 2. Здесь помимо обычной призмы волочения, как у стандартных отвалов, имеется ещё трапециевидная форма призмы волочения при выдвигании боковых стенок отвала вперед.

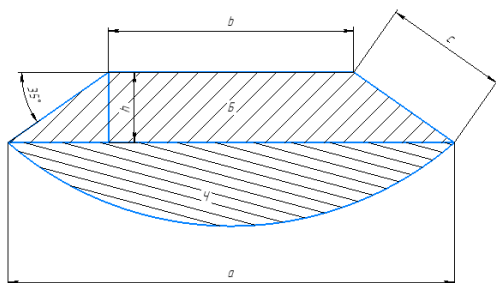


Рис. 2. Схема отвала с увеличенной призмой волочения

Объем призмы волочения данного отвала нельзя находить как у стандартных отвалов, поэтому объем призмы волочения, приведенный на рисунке, можно найти по формуле

$$V_{\text{пр}} = Б + Ч = \frac{B(H+H_1)^2}{2K_{\text{пр}}} + \left(\frac{1}{2} (a + b) * \sqrt{c^2 - \left(\frac{a-b}{2}\right)^2} \right) * (H + H_1),$$

где Б – объем снега/грунта в отвале; Ч – призма волочения; a – длина срезаемой полосы; b – длина центральной секции отвала; c – длина боковой секции; H – высота отвала; H_1 – высота козырька; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент формы призмы, принимается в зависимости от связности грунта и отношения H/L [2].

Таким образом, удалось разработать относительно простой по конструкции отвал с изменяемой геометрией, предназначенный для уборки территорий от легких грунтов, от рыхлого и влажного снега. Оборудование частично состоит из стандартных изделий, что позволяет изготовить его с минимальными затратами в условиях любого предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование машин для земляных работ / под ред. А.М. Холодова. Харьков, 1986. 272 с.
2. Методические указания по курсовому проектированию машин для земляных работ / под ред. Ю.М. Гаврилов, В.Т. Кузнецов. Ярославль, 1979. 40 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРМWINMACHINE ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ КОНСОЛЬНОГО КРАНА

А.В. Узлов, Н.Е. Тарасова

Научный руководитель – **Н.Е. Тарасова**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В данной статье рассматривается проблема несовершенства грузоподъемного оборудования. Целью статьи является описание проектирования усовершенствованной конструкции настенного консольного крана с применением программы АРМ WinMachine.

Ключевые слова: кран консольный настенный, кран настенный поворотный, грузоподъемное оборудование

THE USE OF APM WINMACHINE IN THE DESIGN OF THE METAL STRUCTURE OF THE CANTILEVER CRANE

A.V. Uzlov, N.E. Tarasova

Scientific Supervisor - **N.E. Tarasova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This article discusses the problem of imperfection of lifting equipment. The purpose of the article is to describe the design of an improved design of a wall-mounted cantilever crane using the APM WinMachine program.

Keywords: wall-mounted cantilever crane, wall-mounted rotary crane, lifting equipment

Консольные краны нашли широкое распространение на предприятиях, строительных площадках, автосервисах и в других местах, где деятельность невозможна без специального грузоподъемного оборудования. Далеко не везде можно установить традиционный мостовой кран, к тому же они не всегда являются оптимальным вариантом из-за высокой стоимости и слишком большой мощности. Альтернатива – оборудование консольного типа. Такие устройства стоят дешевле, отличаются компактно-

стью, надёжностью и расширенным функционалом. На промышленных предприятиях они могут быть составной частью грузоподъёмного комплекса или использоваться в качестве самостоятельной единицы. При анализе предлагаемых на российском рынке консольных настенных кранов выяснилось, что большинство из них не обладают механическим приводом поворота, из-за чего для поворота консоли применяется физическая сила со стороны оператора. Для решения этой проблемы, в Ярославском государственном техническом университете, на кафедре «Строительные и дорожные машины» был разработан настенный консольный кран, модифицированная конструкция которого оснащена приводом механизма поворота.

Кран предназначен для подъема груза весом до 1 тонны и на высоту до 6 метров. Рабочее оборудование состоит из треугольной фермы, вертикальной колонны, подшипниковых узлов, электротали, механизма поворота, двугавра, выполняющего функцию монорельса. Стрела имеет максимальный вылет 3 метра, Кран оснащен механическим приводом поворота, это позволяет осуществлять поворот, без применения физической силы, что облегчает работу персоналу, снижает их усталость, уменьшает пагубное влияние на здоровье, а также увеличивает скорость грузозночно-разгрузочных работ.

Так как основой металлоконструкции крана является ферма, то для расчета усилий и напряжений в ее стержнях, измерения прогибов и подбора сечений, помимо ручного расчета была использована система автоматизированного расчета APM WinMachine [1]. Данное программное обеспечение позволяет производить расчет усилий в стержнях, показывает напряжения, суммарные перемещения и коэффициент запаса в элементах металлоконструкций.

Для расчетов были выбраны три фермы: раскосная (рис. 1), и две треугольных, с углом наклона стержней среднего пояса 45 (рис. 2) и 40 градусам соответственно.

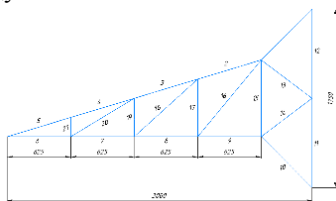


Рис. 1. Раскосная ферма

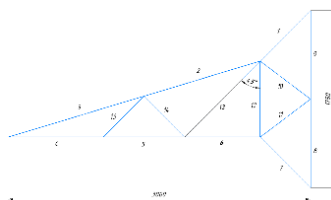


Рис. 2. Треугольная ферма

Порядок выполнения расчета в APM WinMachine:

- создать двумерную расчетную схему фермы;
- закрепить ферму на опорах;
- приложить нагружение к концу стрелы;

- произвести статический расчет и вывести результаты на экран. Результаты расчетов показаны на рис. 3-5.

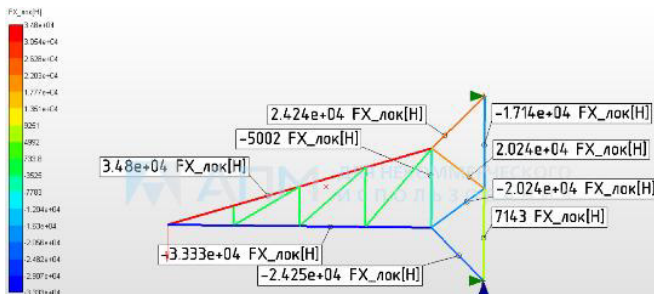


Рис. 3. Усилия в стержнях раскосной фермы

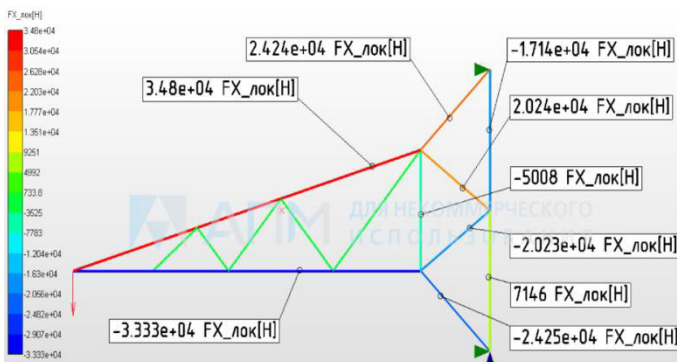


Рис. 4. Усилия в стержнях треугольной фермы

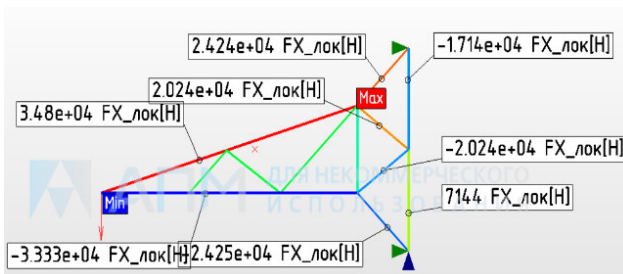


Рис. 5. Усилия в стержнях треугольной фермы

По результатам расчетов выяснилось, что у всех типов ферм максимальная нагрузка в стержнях одинаковая, однако треугольная ферма с углом наклона стержней среднего пояса 45 градусов имеет наименьшую длину стержней, а значит, наиболее предпочтительна.

Подбор сечений верхнего и среднего поясов фермы производился исходя из запаса по пределу текучести, максимально допустимого прогиба консоли и минимально возможной массы металлоконструкции. В результате был выбран составной профиль – два равнополочных уголка 40x40x3 мм, расположенных стенками друг к другу. Соединение элементов фермы сварное с использованием косынок.

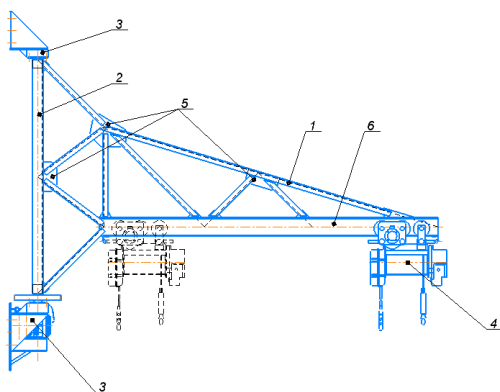


Рис. 6. Общий вид спроектированного консольного крана (вид спереди):

1 – металлоконструкция крана; 2 – вертикальная колонна крана; 3 – подшипниковые узлы; 4 – электрическая таль; 5 – косынки для крепления элементов металлоконструкции; 6 – монорельс передвижения электротали

Таким образом, в ходе работы был спроектирован настенный консольный кран, с применением системы автоматизированного проектирования АРМ WinMachine. Конструкция крана была модифицирована путем оснащения механизмом поворота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. НТЦ АПМ. Расчет конструкций, деталей машин и механизмов. URL: <https://apm.ru/apm-winmachine>

УДК 004.896

ИИ В САПР: КАК ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ МЕНЯЕТ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Т.А. Краснобаев

Научный руководитель – **Ю.Г. Попов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Проанализированы возможности работы современных технологий искусственного интеллекта совместно с системами автоматизированного проектирования. Сделаны выводы о применении современных средств искусственного интеллекта в проектировании.

Ключевые слова: искусственный интеллект, системы автоматизированного проектирования, нейронные сети

AI IN CAD: HOW ARTIFICIAL INTELLIGENCE IS CHANGES DESIGN

T.A. Krasnobaev

Scientific Supervisor – **Y.G. Popov**, Candidate of Technical Sciences
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper analyses capabilities of modern artificial intelligence technology in conjunction with computer-aided design systems. Conclusions about use of modern artificial intelligence tools in design were drawn.

Keywords: artificial intelligence, computer-aided design, neural networks.

Автоматизированное проектирование – это процесс создания и изменения цифровых моделей физических объектов, систем или сред при помощи систем автоматизированного проектирования (САПР). САПР широко используется в машиностроении, архитектуре, производстве и других областях, требующих точности и творческого подхода. Однако САПР также включает в себя сложные и монотонные задачи, которые могут отнимать много времени и приводить к человеческим ошибкам. Именно здесь на помощь приходит искусственный интеллект (ИИ).

ИИ – это отрасль компьютерных технологий, целью которой является создание машин или программного обеспечения, способных выполнять задачи, для которых обычно требуется человеческий интеллект, такие как обучение, рассуждения, решение проблем и принятие решений. ИИ может улучшить САПР путем автоматизации некоторых аналитических этапов проектирования, поиска закономерностей и повторений в массивах данных, генерации оптимальных решений на основе заданных ограничений, а также предоставления обратной связи и предложений. ИИ также может создать новые возможности для САПР, такие как генеративное проектирование, которое исследует несколько альтернативных вариантов дизайна на основе определенных пользователем целей.

В этой статье мы рассмотрим, как ИИ преобразует индустрию проектирования, повышая эффективность, качество и уровень САПР. Мы также обсудим некоторые проблемы и возможности интеграции ИИ в системы САПР.



Рис. 1. Результат работы нейросети

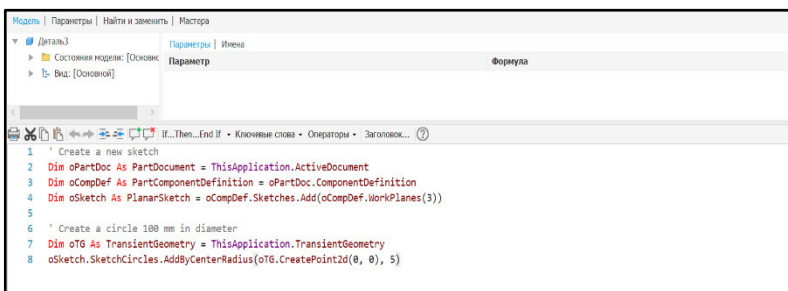


Рис. 2. Вставка кода в среду iLogic в Autodesk Inventor

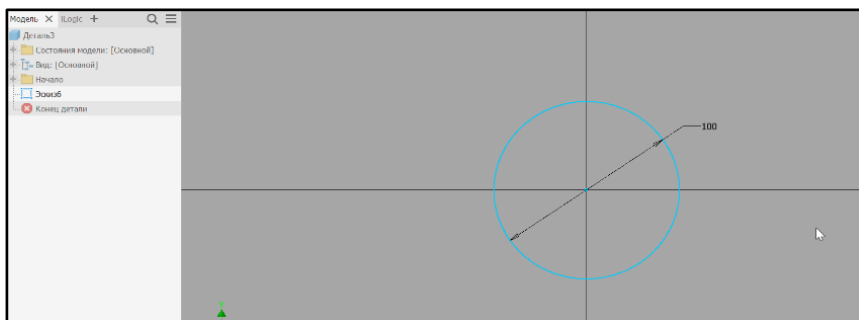


Рис. 3. Результат работы правила в среде Autodesk Inventor

Для демонстрации возможностей взаимодействия ИИ и САПР будет взят Autodesk Inventor и имеющийся в нем компонент iLogic. iLogic позволяет пользователям автоматизировать сегменты процесса проектирования, давая возможность создавать логику на языке Visual Basic.NET для выполнения различных задач. За написание правил будет отвечать нейросеть Bing AI от компании Microsoft, она по заданному запросу будет выдавать готовый код для iLogic, который пользователь в свою очередь будет проверять на работоспособность в программе Autodesk Inventor и в случае наличия ошибок исправлять их через ту же самую нейросеть.

Пример работы нейросети показан на рис. 1-3. Задание заключалось, в написании правила, по которому в среде детали будет создан новый эскиз, а на нём будет создана окружность диаметром 100 мм.

Следует отметить, что показанный пример, лишь малая часть того, на что способны современные технологии ИИ. Далее представлен список, наиболее значимых результатов, полученных от нейросети Bing AI в написании кода для среды iLogic:

- создание чертежа в трёх проекциях с готовой 3D-модели при помощи только лишь правила из среды iLogic;
- указывание изменённых размеров в поле чертежа после редактирования 3D модели;
- возможность создавать зеркальную копию как полноценной детали, так и её чертежа.

В заключении стоит упомянуть, что полученные результаты были достигнуты путём множества итерации и до сих пор неизвестно как в некоторых случаях нейросеть принимала своё решение, очень часто она даже может отказаться выполнять поставленную задачу основываясь на недостатке данных по той или иной теме, и чтобы восполнить такие пробелы в её работе необходимы терабайты различных данных, что может быть не всегда возможно, а к тому же ещё и дорого.

Однако результаты, которых искусственный интеллект добился в области САПР, уже впечатляют и в будущем будут только улучшать свой функционал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Peng L.* The Application of Artificial Intelligence in Architectural Design and Planning / L. Peng, Y. Ye // The 2021 International Conference on Machine Learning and Big Data Analytics for IoT Security and Privacy. 2021. С. 792–797.
2. *Langnau L.* CAD and AI: making design better, faster, and easier // Design World URL: <https://www.designworldonline.com/cad-and-ai-making-design-better-faster-and-easier/> (дата обращения: 20.03.2023).

УДК 621.86

ОБЗОР РЫНКА И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ САМОХОДНЫХ ГРУЗОВЫХ ТЕЛЕЖЕК ДЛЯ ПОДЪЕМА ПО ЛЕСТНИЧНЫМ МАРШАМ

Д.Д. Николаенков

Научный руководитель - **Ю.Г. Попов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В данной работе описывается применение самоходной грузовой тележки для подъема по лестницам, ее основные элементы конструкции, а также вариации исполнения тележек на примере некоторых компаний, производящих такие машины.

***Ключевые слова:** Самоходные транспортировщики, тележки для подъема по лестницам, гусеничные мини транспортёры*

MARKET OVERVIEW AND BASIC DESIGN ELEMENTS OF SELF-PROPELLED CARGO TROLLEYS FOR CLIMBING STAIRS

D.D. Nikolaenkov

Scientific Supervisor – **Yu.G. Popov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This paper describes the use of a self-propelled cargo trolley for climbing stairs, its main structural elements, as well as variations in the design of trolleys on the example of some companies that produce such machines.

***Keywords:** self-propelled transporters, trolleys for climbing stairs, crawler mini transporters*

К одной из категорий средств малой механизации (СММ) относят самоходные грузовые тележки. Такие машины предназначены для транспортировки грузов, малых габаритов, облегчающие труд рабочих.

В данной статье хотелось бы обратить внимание на самоходные грузовые тележки для подъема по лестничным маршам. Главная их задача обеспечение подъема тяжелых, но достаточно малогабаритных грузов

на верхние и технические этажи зданий без применения грузоподъемных кранов. В основном такие тележки базируются на конструкции гусеничной машины Minidumper (рис. 1). Для подъема по лестничным пролетам дорабатываются основные элементы, такие как рама, гусеницы, также добавляются гидроцилиндры (для подъема платформы крепления груза). Но самое главное отличие от других тележек – отсутствие двигателя внутреннего сгорания, ведь такие транспортировщики используются в закрытых помещениях, где наличие ДВС невозможно.



Рис. 1. Гусеничный Minidumper

Лестничный гусеничный подъемник (рис. 2) [1] - данный транспортировщик предназначен для подъема по лестничным пролетам. Используется базовое шасси гусеничного типа с рамой, к которому прикреплены рычаги для поворота вокруг собственной оси. Управление производится пультом, расположенным на ручке транспортировки.

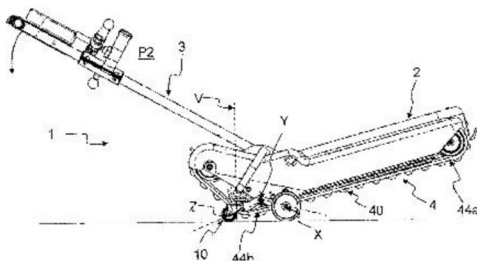


Рис. 2. Схемы к патенту «Лестничный гусеничный подъемник»

Основные крупные компании, выпускающие такие машины, – «Movex» [2] Италия и «Synergy EV Electric industrial crawler machines» [3] Британия. Эти фирмы выпускают различные виды мини транспортиров-

щиков, в том числе и грузовые тележки для подъема по лестничным пролетам.

У компании «Synergy EV Electric industrial crawler machines» есть две модели лестничных тележек: “TWIN-TRACK 47” (рис. 2) и “TWIN-TRACK 66 ” (рис. 3). Конструкции у них одинаковы – есть несущая рама, на которой закреплен механизм гусениц, электромоторы и гидроцилиндры подъема платформы груза. Основное отличие заключается в грузоподъемности. В первом случае несущая способность достигает до 272 кг, а во втором – до 600 кг.



Рис. 3. TWIN TRACK 47
фирмы «Synergy EV»



Рис. 4. TWIN TRACK 66
фирмы«Synergy EV»

В настоящее время самоходные грузовые тележки, как и самоходные грузовые минибульдозеры, минискреперы, широко используются в перемещении грузов, где необходима не локальная работа, а местная небольшая работа, которая облегчает труд человека. Использование таких тележек выгодно с экономической точки зрения, ведь та же самая тележка для подъема по лестничным маршам заменяет нам краны, которые размещают в шахтах лифт для подъема грузов на высоту. Это способствует увеличению заинтересованности в применении такого типа самоходных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2768298 C2 US, МПК В 66 В 9/08. Лестничный гусеничный подъемник: № 2020127363: заявл. 2019.01.14: опубл. 2022.03.23 / Манчинелли, Винченцо. 18 с.
2. Официальный сайт компании Movex: сайт. URL: <https://movexinnovation.com/> (дата обращения: 21.03.2023)
3. Официальный сайт компании SynergyEV: сайт. URL: <https://www.synergy-ev.com/> (дата обращения: 21.03.2023)

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХАМПЛИТУДНОГО ДЕБАЛАНСА С ПОДВИЖНОЙ ВНУТРЕННЕЙ МАССОЙ

К.К. Шаманин, К.Д. Корсакова

Научные руководители - **Ю.Г. Попов**, канд. техн. наук, доцент;
А.С. Краюшкин, ассистент

Ярославский государственный технический университет

В данной работе описывается эксперимент по динамическому моделированию двухамплитудного дебаланса с подвижной внутренней массой в виде стальных шариков. Рассматривается процесс распределения подвижной массы по внутренней полости дебаланса.

***Ключевые слова:** дебаланс, динамическое моделирование, вынуждающее усилие*

DYNAMIC SIMULATION OF A TWO-AMPLITUDE UNBALANCE WITH A MOVING INTERNAL MASS

K.K. Shamanin, K.D. Korsakova

Scientific Supervisors – **Y.G. Popov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor; **A.S. Krayushkin**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

This paper describes an experiment on dynamic modeling of a two-amplitude imbalance with a moving internal mass in the form of iron balls. The process of distribution of the moving mass in the internal unbalance density is considered.

***Keywords:** unbalance, dynamic modeling, forcing effort*

Динамическое моделирование является важным инструментом для понимания поведения сложных систем [1]. Это позволяет инженерам и ученым исследовать изменение важнейших параметров системы во времени и получать представление о ее поведении в различных условиях. В данной статье представлен эксперимент по динамическому моделированию дебаланса вибрационного катка CS-563D марки Caterpillar [2].

Основной задачей данного моделирования было определение характера движения стальных шариков во время разгона и вращения дебаланса с постоянной скоростью. На рисунке (рис. 1) представлена принципиальная схема двухамплитудного дебаланса вибрационного катка компании Caterpillar. Из рисунка видно, что вынуждающая сила изменяется за счёт положения подвижной массы, которая представлена в виде стальных шариков.

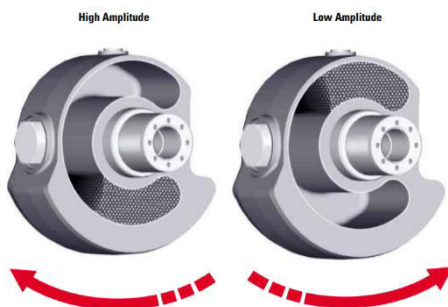


Рис. 1. Двухамплитудный дебаланс Caterpillar [3]

Дальнейшая работа заключалась в исследовании перемещений железных шаров внутри дебаланса. Выдвинуто предположение, что при вращении шары будут равномерно распределяться по внутренней полости, если ось кривизны поверхности этой внутренней полости будет совпадать с осью вращения дебаланса.

При помощи программного комплекса Autodesk Inventor [4] создана 3D-модель и проведен динамический анализ системы при равноускоренном и равномерном вращении дебаланса. В первом моделировании исследовалось движение и взаимодействие двух шаров (рис. 2).

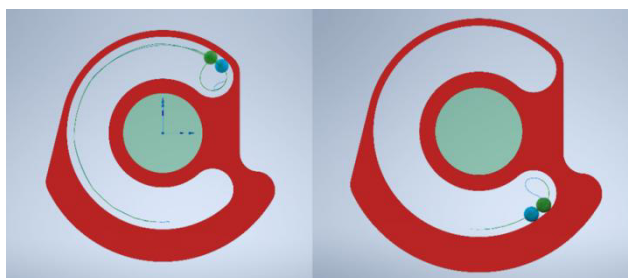


Рис. 2. Моделирование 1.
Вращение по часовой стрелке и против часовой стрелки

Цветными линиями показаны траектории движения шаров в системе координат дебаланса. Моделировалось вращение по часовой стрелке и против. Скорость вращения менялась от 0 до 30 Гц в первой половине временного интервала моделирования и оставалась постоянной во второй половине. В итоге можно отметить, что после периода разгона шары заняли положение неустойчивого равновесия в конце полости.

Для следующего моделирования число шариков было увеличено, чтобы оценить их взаимодействие между собой. На рис. 3 представлен результат данного моделирования.

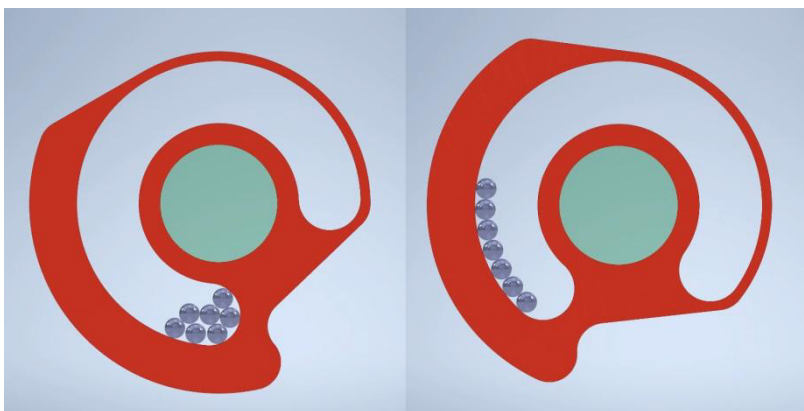


Рис. 3. Моделирование дебаланса с семью шариками

Проанализировав полученные данные, можно утверждать, что при вращении дебаланса стальные шарики будут равномерно распределяться по внутренней полости, что приведет к постепенному изменению (уменьшению) величины вынуждающей силы после окончания фазы разгона. Можно предположить, что в оригинальной конструкции внутренняя полость выполнена с неравномерной кривизной в верхней и нижней точках, что обеспечит сосредоточение стальных шариков, соответственно, в верхней и нижней части дебаланса, в зависимости от направления его вращения.

Таким образом, динамическое моделирование является важным инструментом для понимания поведения сложных систем. Это позволяет инженерам и ученым исследовать поведение системы во времени и получать представление о поведении системы в различных условиях. Его также можно использовать для определения причины сбоя системы или выявления потенциальных проблем до их возникновения, а также для оптимизации производительности системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Домников А.С.* Динамический анализ механизмов в системе Inventor 2009 [Электрон. ресурс]: учеб. пособие по дисциплине "Геометрическое моделирование в САПР" / А.С. Домников, В.А. Мартынюк; МГТУ им. Н. Э. Баумана. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. 2 CD-ROM. ФГУП "Информрегистр" № 0321002408.
2. Грунтовые катки Caterpillar CS 563 D, технические характеристики. URL: <https://magazinst.ru/caterpillar/52970-cs-563-d>
3. VibratorySoilCompactorsCS-563D, CP-563D. URL: <http://www.pioneerjaxrentals.com/specs/Compactors/Compactor-Caterpillar-CS-563.pdf>
4. *Концевич В.* Твердотельное моделирование машиностроительных изделий в Autodesk Inventor. Litres, 2017. URL: https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_119860.pdf

УДК 69.002.5

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УПРУГОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ АМОРТИЗАТОРОВ ВАЛЬЦА ВИБРАЦИОННЫХ КАТКОВ

Д.А. Шорохов, И.С. Тюремнов

Научный руководитель – **И.С. Тюремнов**, канд. тех. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В работе приведена методика экспериментального определения значения коэффициента упруго сопротивления амортизаторов вальца вибрационного катка.

***Ключевые слова:** каток вибрационный, модель реологическая, амортизатор, жёсткость, коэффициент упругого сопротивления, методика определения*

THE METHOD OF EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF ELASTIC RESISTANCE OF SHOCK ABSORBERS OF THE ROLLER OF VIBRATING ROLLERS

D.A. Shorohov, I.S. Tyuremnov

Scientific Supervisor – **I.S. Tyuremnov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper presents a method for experimentally determining the value of the elastic resistance coefficient of the shock absorbers of the roller of a vibrating roller.

***Keywords:** vibrating roller, rheological model, shock absorber, stiffness, elastic resistance coefficient, determination method*

При разработке конструкций современных катков и модернизации, существующих необходимо обосновать их основные характеристики: масса катка, масса вальца, масса рамы вальца, диаметр и ширина вибро-вальца, вынуждающее усилие, частота колебаний и другие [1]. Данные характеристики можно получить при помощи статистической обработки технических характеристик выпускаемых вибрационных катков различных производителей. Но есть ряд параметров, информацию о которых

производители не предоставляют. К таким параметрам относятся упругие и вязкие характеристики амортизаторов вальца. Так как амортизаторы предназначены для демпфирования колебаний и ударов, передающихся на корпус (раму) машины за счет превращения механической энергии в тепловую. Эффективность системы амортизации, а, следовательно, и соответствие оборудования допустимым уровням вибрации и шума напрямую зависит от количества и характеристик амортизаторов, устанавливаемых между вальцом и рамой.

Для моделирования взаимодействия элементов вибрационного катка между собой и с уплотняемым грунтом целесообразно использовать трёхмассную реологическую модель, системы: «Рама-Валец-Грунт» [2]. Данная модель позволяет исследовать важные особенности условий работы грунтового вибрационного катка: в контакте с грунтом и в отрыве от грунта.

На сегодняшний день на различных вибрационных катках устанавливаются разные модели амортизаторов. Резинометаллический амортизатор (рис. 1) представляет собой упругий резиновый элемент, закреплённый между двумя металлическими пластинами, в которых расположены крепежные отверстия. Амортизаторы можно описать коэффициентом упругого сопротивления k_f и коэффициентом вязкого сопротивления b_f . Определение численных значений коэффициента упругого сопротивления амортизатора k_f предлагается осуществлять экспериментально на основании графика зависимости усилия амортизатора от его деформации [3].



Рис. 1. Различные модели амортизаторов для вибрационных катков

Амортизатор может работать на сжатие и на сдвиг, а также одновременно на сдвиг со сжатием. Стоит отметить, что при работе вибрационного грунтового катка амортизаторы вибровальца совершают работу только на сдвиг, поэтому для данного испытания было спроектировано специальное зажимное устройство (рис. 2). Для исключения отрыва ме-

таллических пластин от упруго резинового элемента, в зажимном устройстве устанавливается сразу два амортизатора, что обеспечивает плоско параллельное перемещение металлических платин (см. рис. 2).

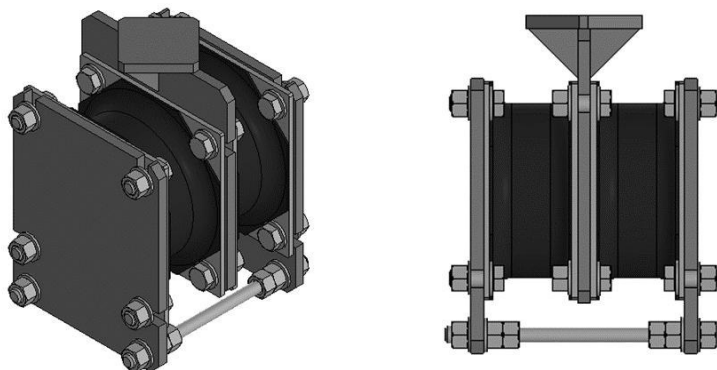


Рис. 2. Зажимное устройство для крепления двух амортизаторов

Испытания амортизаторов проводились на кафедре «Строительные и дорожные машины» ЯГТУ. Нагрузка на демпферы создавалась за счет гидравлического пресса П-10 (с развиваемым максимальным усилием 100 кН) которые регистрировались при помощи электронного динамометра АЦД/2С-100/4И-2 и подключенным к нему тензометрическим датчиком № Т92214 с соединительным кабелем. Перемещение амортизатора регистрировалось при помощи точного цифрового штангенциркуль Inforce 06-11-40 (максимальный ход 200 мм). Общий вид лабораторного стенда, а также процесс проведения эксперимента приведён на рис. 3.



Рис. 3. Общий вид лабораторного стенда в процессе проведения эксперимента

В процессе эксперимента (см. рис 3) ступенчато изменялась нагрузка (от 0 до 10 кН) и регистрировались показания электронного динамометра и цифрового штангенциркуля от приложенного усилия прессом. Все полученные данные записывались на ноутбук и сохранялись для последующей обработки в программе [3].

Коэффициент упругого сопротивления амортизатора определяется по формуле

$$k_f = R/z_f,$$

где R – усилие, приложенное к амортизатору, Н; z_f – деформация амортизатора, м.

Разработанная методика экспериментального определения позволяет определить численные значения коэффициента упругого сопротивления амортизатора для конкретной, для использования в реологической вибрационной катки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тюремнов И.С.* Уплотнение грунтов вибрационными катками: монография / И.С. Тюремнов, А.А. Игнатев. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2012. 140 с.
2. *Тюремнов И.С.* Моделирование отображения различных режимов колебаний вальца системами непрерывного контроля уплотнения грунта вибрационными катками / И.С. Тюремнов, А.С. Морев // Пром-Инжиниринг: тр. VII всерос. науч.-техн. конф. Москва, Челябинск, Новочеркасск, Волгоград, Сочи, 17–21 мая 2021 года. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2021. С. 38-42.
3. *Тюремнов И.С.* К обоснованию влияния количества амортизаторов на характеристики колебаний вальца и рамы вибрационной катки / И.С. Тюремнов, Д.В. Федорова, А.С. Морев // Пром-Инжиниринг: тр. V Всерос. науч.-техн. конф. Москва-Челябинск-Новочеркасск-Волгоград-Сочи, 25–29 марта 2019 года. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2019. С. 150-155.

**РАЗРАБОТКА ПОЗВОНКА
НА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОДУШКАХ
РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРА**

Д.С. Минц

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

Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)

В работе представлены результаты проектирования рабочего оборудования колесно-шагающего экскаватора. Разрабатываемая конструкция позвонковой секции предназначена для обеспечения степеней хода рабочего оборудования, используемого в стесненных условиях обрушения различных конструкций в зонах чрезвычайных ситуаций. Работа является актуальной, поскольку благодаря новой форме стрелы позволит увеличить производительность работ в 1,5 раза.

Ключевые слова: позвонки, хребтовая рукоять, колесно-шагающий экскаватор, оборудование для завалов, спецтехника, гидравлическая подушка

**DEVELOPMENT OF A VERTEBRATE
ON HYDRAULIC CUSHIONS OF THE EQUIPMENT
OF AN EXCAVATOR**

D.S. Mints

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

Moscow Automobile and Highway State Technical University

The paper presents the results of designing the working equipment of a wheel-walking excavator. The designed design of the vertebral section is designed to provide the degrees of travel of the working equipment used in cramped conditions of collapse of various structures in emergency zones. The work is relevant, because thanks to the new form it will increase the productivity of work by 1.5 times.

Keywords: vertebrae, spinal handle, wheel-walking excavator, debris removal equipment, special equipment, hydraulic cushion

В современной спасательной технике множество проблем, связано либо с отсутствием автономности работы оборудования, скорости, ма-

невренности и обеспечении плавности хода [1, 2]. Когда здание обрушено в центральной части, технике сложно приблизиться к очагу обрушения, а люди могут попасть под повторное более массовое обрушение. Поэтому в качестве решения автором разработана конструкция гибкой позвоночной стрелы экскаватора, обеспечивающая работу в условиях обрушения и создающая коридор безопасности.

В работе представлен проект позвоночной системы рабочего оборудования, обеспечивающего за счет дополнительных степеней свободы гибкость при работе в стесненных условиях обрушений различных конструкций (рис. 1).

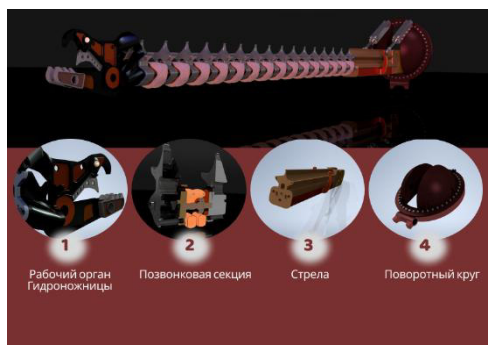


Рис. 1. Проект рабочего оборудования колесно-шагающего экскаватора

Конструкция секционной межпозвоночной стрелы состоит из четырех основных частей:

Рабочий орган - используется для захвата и переноса малогабаритных обломков бетона и другого строительного мусора.

Хребтовая рукоять - состоит из секций позвонков, позволяет стреле двигаться в нужных ей направлениях, добавляя ей степени свободы.

Жесткая стрела - обеспечивает возможность крепления к ней гидrocиллиндров для подъема и опускания всей рабочей области, так же выполняет функцию жёсткой заделки, соединяя гибкую стрелу с поворотным кругом.

Поворотный круг - обеспечивает поворот рабочей части стрелы, внедрен в конструкцию в связи с ограничением по сгибанию в верхней части позвонка, из-за нахождения там большого количества кабелей и датчиков, а также большего объёма материала позвонка.

Позвонок - одна из частей гибкой позвоночной стрелы, работающая за счет снижения и увеличения давления в полостях подушек, которые в свою очередь позволяют заметно изменять угол поворота стрелы (рис. 2).

Таких позвонков в конструкции стрелы предусмотрено 15 штук. Через каждые три позвонка стоит автономная гидростанция, подающая рабочую жидкость в полость подушек и позволяющая независимо от основной станции изменять изгиб секций стрелы.

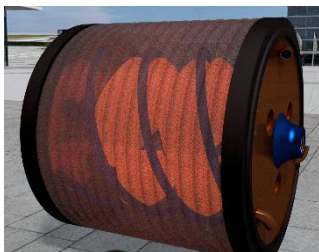


Рис. 2. Модель позвонка в защитном кожухе

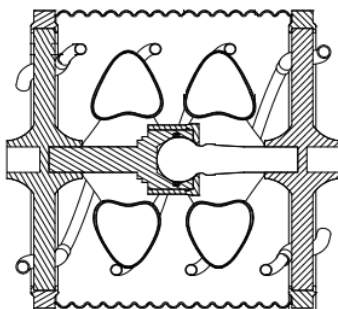


Рис. 3. Позвонок в разрезе

Каждый позвонок (рис. 3) шарнирно-сочленён с последующим шаровым шарниром, обеспечивающий жесткое соединение конструкции при этом давая достаточную степень свободы. Доступ для обслуживания соединения обеспечивает крышка шарового шарнира.

Подушки (рис. 4) состоят из двух слоев: верхний является как защитным, так и крепежным, присоединяется к переходной металлической пластине, на которой с двух сторон крепятся гибкие муфты, являющиеся также переходным звеном между жесткой пластиной и подушками. Нижний слой подушки служит в качестве емкости для технической жидкости. Две подушки соединены между собой, позволяя работать как сообщающиеся сосуды [3, 4].

Редактирование угла наклона секций стрелы определяется объемом рабочей жидкости в подушке. Если требуется повернуть одну сек-

цию вправо, то левая верхняя подушка наполняется рабочей жидкостью, если происходит наполнение правой подушки, то секция поворачивается налево. Управление секциями осуществляется попарно, что уменьшает количество требуемых гидролиний, облегчает вес, стоимость конструкции.

Защита от внешних факторов, пыли, грязи, мелкодисперсных частиц осуществляется с помощью защитного кожуха [5].

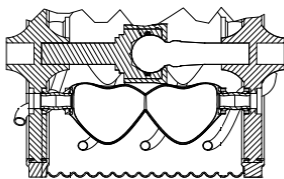


Рис. 4. Подушки в разрезе

В ходе работы над проектом была предложена новая конструкция стрелы, позволяющая обеспечить плавность хода и повысить производительность работ в стесненных условиях завалов при техногенных катастрофах. К направлениям дальнейших исследований отнесено:

- разработка полной конструкции хребтовой стрелы и колесно-шагающей базы;
- подбор и расчет рабочего оборудования, и ее крепление к хребту;
- разработка рекомендаций по режимам работы оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Полосин М.Д.* Техническое обслуживание и ремонт дорожно-строительных машин: Учеб. пособие для нач. проф. образования / М.Д. Полосин, Э.Г. Ронинсон. М.: Издат. центр «Академия», 2015. 352 с.
2. *Полосин М.Д.* Машинист дорожных и строительных машин: Учеб. пособие для нач. проф. образования. М.: Издат. центр «Академия», 2012. 288 с.
3. *Беленков Ю.А.* Гидравлика и гидропневмопривод: учебник / Ю.А. Беленков, А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин. М.: Бастет, 2013. 406 с.
4. *Галдин Н.С.* Гидравлические схемы мобильных машин: учебное пособие / Н.С. Галдин, И.А. Семенова. Омск: СибАДИ, 2013. 203 с.
5. *Орлов Ю.М.* Объемные гидравлические машины. Конструкция, проектирование, расчет: Производственно-практические издания. М.: Машиностроение, 2016. 223 с.

ПЕРЕВОД ВИБРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА КАТКА RV-7,0 DD В РЕЖИМ АСИММЕТРИЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ

В.Г. Рязанцев

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

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

Рассматривается методика перевода вибрационного устройства дорожного катка RV-7,0 DD с круговых колебаний на асимметричные с коэффициентом асимметрии направленной вынуждающей силы равной двум и трём.

***Ключевые слова:** вибрационный каток, круговые колебания, асимметричные колебания, коэффициент асимметрии, вынуждающая сила*

SWITCHING THE VIBRATING DEVICE OF THE RV-7.0 DD ROLLER TO THE ASYMMETRIC OSCILLATION MODE

V.G. Ryazantsev

Scientific Supervisor – **M.D. Gerasimov**, Candidate of Physico-
Mathematical Sciences, Associate Professor

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod

The method of transferring the vibration device of the road roller RV-7.0 DD from circular vibrations to asymmetric vibrations with the asymmetry coefficient of the directed driving force equal to two and three is considered.

***Keywords:** vibrating roller, circular oscillations, asymmetric oscillations, asymmetry coefficient, driving force*

Данный тип катков предназначен для уплотнения покрытий асфальтобетонных и битумно-минеральных смесей. Технические характеристики представлены в каталогах ООО «РАСКАТ», из которых выбираем необходимые для выполнения расчётов: Ширина уплотняемой полосы, мм – 1700, Частота колебаний вибратора, Гц, - 40/55, Вынуждающая сила, кН - 77/57, Линейное давление гладкого вальца, кг/см – 22, Ампли-

туда колебаний вальца, мм - 0,55/0,25, Диаметр вальца, мм – 1200, Ширина вальца, мм – 1700.

Проверка линейного давления гладкого вальца, $q = \frac{M}{2 \cdot L} = \frac{7500}{2 \cdot 170} = 22$ кг/см. Частота колебаний: $f_{1,2} = 40/55$ Гц. Частота вращения дебалансного вала: $n_{1,2} = 2440/3300$ об./мин. Угловая скорость: $\omega_{1,2} = 255/345$ рад/с. Период колебаний: $T_{1,2} = 0.025/0.018$ с. Величина вынуждающей силы: $F_{1,2} = M_{1,2} \cdot \omega_{1,2}^2 = 77/57$ кН. Величина статического момента дебалансов: $M_{1,2} = \frac{F_{1,2}}{\omega_{1,2}^2} = 1.184/0.462$ кг·м. Принимая, условно, величину эксцентриситета дебалансов равную $r_{1,2} = 0.12$ м, можно получить величину массы дебалансов: $m_{1,2} = \frac{M_{1,2}}{r_{1,2}} = 9,9/4$ кг.

Дорожный каток RV-7,0 DD имеет вибрационное устройство, которое может работать с частотой $f_1 = 40$ или с частотой $f_2 = 55$ Гц, генерируя, при этом, круговую вынуждающую силу величиной $F_1 = 77000$ Н или $F_2 = 57000$ Н. Очевидно, при выполнении работы на первом этапе используется сила F_2 , а затем, F_1 .

Следует обратить внимание, что величина вынуждающей силы, направленной в сторону уплотнения материала, т.е. в сторону выполнения полезной работы, равна по величине силе, направленной в сторону металлоконструкции катка, т.е. в сторону выполнения холостого хода. Из этого вытекает вывод, что при необходимости увеличения величины вынуждающей силы, действующей в направлении выполнения полезной работы, $F_{н.р.}$, необходимо выполнить расчёты и меры по увеличению прочности, надёжности, а значит, и металлоёмкости конструкции самого дорожного катка.

Для устранения такого недостатка, для снижения величины вынуждающей силы, действующей в направлении холостого хода, $F_{х.х.}$, в два или в три раза, при сохранении величины вынуждающей силы, действующей в направлении выполнения полезной работы, следует использовать вибрационные устройства с асимметричными колебаниями [1-3]. При этом следует достигать соотношений:

$$F_{х.х.} = \frac{F_{н.р.}}{2} \text{ или } F_{х.х.} = \frac{F_{н.р.}}{3}.$$

Решение такой задачи состоит из двух самостоятельных проектных работ. На первом этапе решается задача, с условным названием: «За счёт чего?». А на втором этапе: «Какой конструкцией вибрационного устройства?». В данной статье рассматривается первый этап решения общей задачи.

Для решения поставленной задачи необходимо выполнение следующих условий:

1. Получение асимметричных колебаний достигается сложением двух, или трёх, для нашего случая, наложенных гармонических колебаний, выполняемых одновременно:

$$F_{\text{п.р.}} = F_{\text{сумм}} = F_1 + F_2$$

или

$$F_{\text{п.р.}} = F_{\text{сумм}} = F_1 + F_2 + F_3,$$

где F_1, F_2, F_3 – составляющие направленные вынуждающие силы, Н.

$F_{\text{сумм}}$ – суммарная вынуждающая сила, действующая в направлении выполнения полезной работы, Н.

2. Слагаемые колебания имеют направленные вынуждающие силы вдоль одной линии действия

3. Слагаемые колебания имеют кратные частоты вращения.

$$\omega_1; \omega_2 = 2 \cdot \omega_1; \omega_3 = 3 \cdot \omega_1.$$

Решение. Выполним расчёт и построение графиков исходных, базовых колебаний по принятым параметрам (рис. 1 и 2).

Для вибрационного устройства с асимметричными колебаниями и коэффициентом асимметрии равным двум, принимаем

$$F_{\text{п.р.}} = F_{\text{сумм}} = F_1 + F_2 = \left(\frac{2}{3}\right) \cdot F_{\text{сумм}} + \left(\frac{1}{3}\right) \cdot F_{\text{сумм}} = 77000 \text{ Н.}$$

Результаты расчёта и построения графика изменения величины суммарной вынуждающей силы приведены на рис. 3.

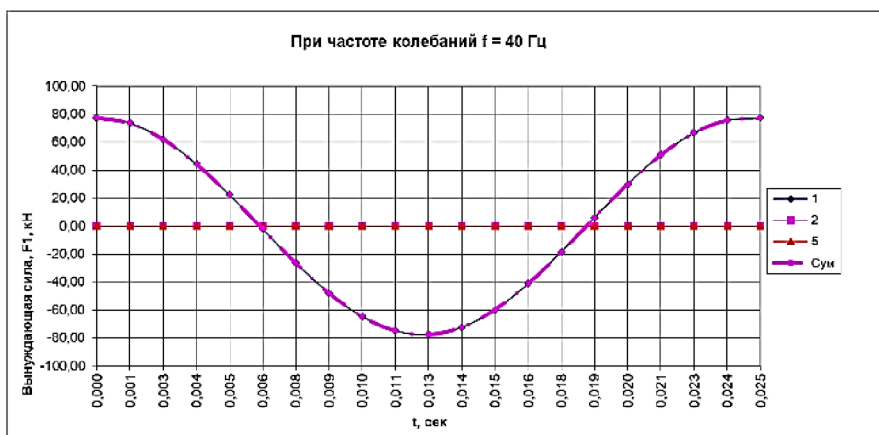


Рис. 1. График изменения вынуждающей силы базового вибрационного устройства катка при частоте вращения дебалансного вала $f = 40$ Гц

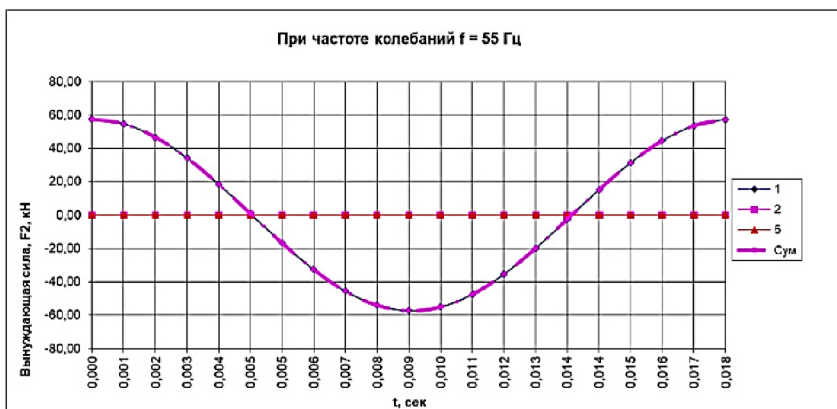


Рис. 2. График изменения вынуждающей силы базового вибрационного устройства катка при частоте вращения дебалансного вала $f = 55$ Гц

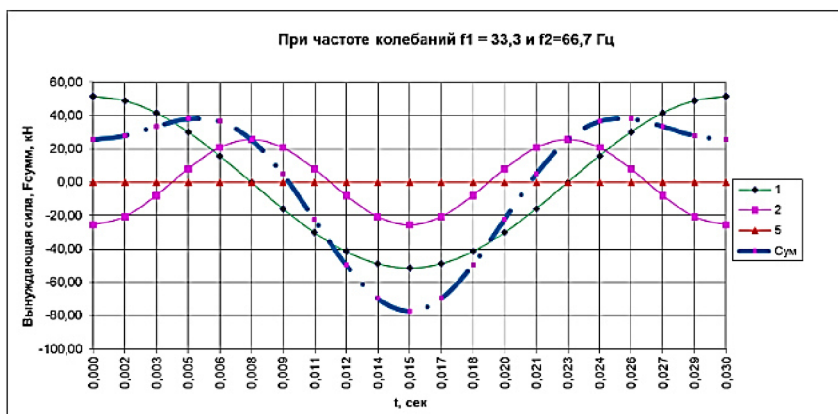


Рис. 3. График изменения вынуждающей силы базового вибрационного устройства катка при частоте вращения дебалансных валов $f_1 = 33,3, f_2 = 66,7$ Гц

В результате, при сохранении величины вынуждающей силы, действующей в направлении выполнении полезной работы, «вниз», равной 77кН, величина составляющей, действующей в направлении холостого хода, «вверх», снизилась в два раза, до 38,5 кН.

Для вибрационного устройства с асимметричными колебаниями и коэффициентом асимметрии равным трём, принимаем

$$F_{п.р.} = F_{сумм} = F_1 + F_2 + F_3 = (0.5) \cdot F_{сумм} + \left(\frac{2}{3}\right) \cdot F_{сумм} + \left(\frac{1}{3}\right) \cdot F_{сумм} = 77000 \text{ Н.}$$

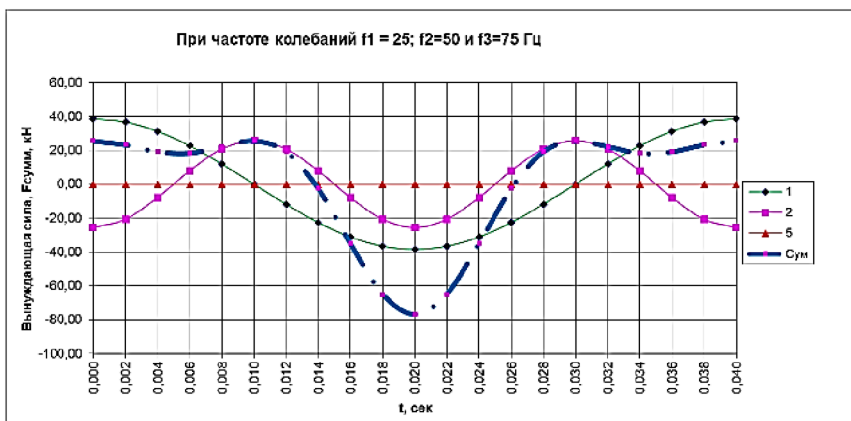


Рис. 4. График изменения вынуждающей силы вибрационного устройства катка с асимметричными колебаниями при частоте вращения дебалансных валов $f_1 = 25, f_2 = 50$ и $f_3 = 75$ Гц

В результате, при сохранении величины вынуждающей силы, действующей в направлении выполнения полезной работы, «вниз», равной 77кН, величина составляющей, действующей в направлении холостого хода, «вверх», снизилась в три раза, до 25,6 кН. При необходимости снижения величины вынуждающей силы, например, до 57 кН необходимо снизить пропорционально частоты вращения дебалансных валов. Так для случая (рис. 4), будем иметь следующие параметры (рис. 5).

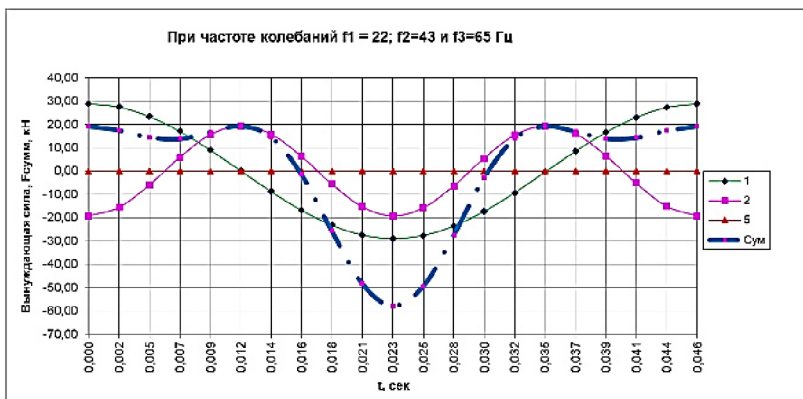


Рис. 5. График изменения вынуждающей силы вибрационного устройства катка с асимметричными колебаниями при частоте вращения дебалансных валов $f_1 = 22, f_2 = 43$ и $f_3 = 65$ Гц

В результате, при сохранении величины вынуждающей силы, действующей в направлении выполнении полезной работы, «вниз», равной 57кН, величина составляющей, действующей в направлении холостого хода, «вверх», снизилась в три раза, до 19,3 кН.

Вывод. Таким образом, приведена методика расчёта и численный расчёт параметров вибрационного устройства с асимметричными колебаниями дорожного катка RV-7,0 DD, с коэффициентом асимметрии суммарной направленной вынуждающей силы, равным $k_{ac} = 2,0$, или $k_{ac} = 3,0$, взамен вибрационного устройства с круговыми колебаниями.

Статья написана в соответствии с планом аспирантской работы автора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Челомей В.Н.* Вибрации в технике: Справочник. Т. 4. / под ред. Э.Э. Лавендела. М., 1981. 509 с.
2. Патент № 2740282 С1 RU, МПК E02D 7/18 (2006.01). Способ генерирования направленных инерционных асимметричных колебаний рабочего оборудования вибрационных машин: заявка: 2020121504, 05.08.2020; опубл.: 12.01.2021 Бюл. № 2 / Герасимов М.Д. П/облад.: ФГБОУ ВО «БГТУ им. В.Г. Шухова» (RU).
3. *Gerasimov M.* The dynamic factor determination of the vibration mechanism with asymmetric vibrations / M. Gerasimov, N. Vorobiov, M. Romanovich, E. Amini // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. No. 698. P. 066039. DOI: 10.1088/1757-899X/698/6/066039.

СЕКЦИЯ «ДОРОЖНЫЙ И АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ»

УДК 656.072

СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ГОРОДСКОЙ ПОЕЗДКИ, ПРЕДУСМАТРИВАЮЩИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ПЕРСОНАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

М.Г. Карасёва

Белорусский национальный технический университет

В статье анализируются варианты поведения горожан при выборе маршрута городской поездки с (и без) использованием средств персональной мобильности (СПМ). Результаты такого анализа необходимы для сравнения вариантов перспективного развития городских транспортных систем, включающих СПМ, а также при проектировании новых транспортных систем.

***Ключевые слова:** средства персональной мобильности, городские пассажирские перевозки, транспортная система*

COMPARISON OF PERSONAL MOBILITY URBAN TRAVEL OPTIONS

M.G. Karaseva

Belarusian National Technical University

The article analyzes the behavior options of citizens when choosing the route of a city trip with (and without) the use of personal mobility (SPM). The results of such an analysis are necessary to compare the options for the prospective development of urban transport systems, including SPM, as well as when designing new transport systems.

***Keywords:** means of personal mobility, urban passenger transportation, transport system*

Средства персональной мобильности (СПМ) в основном используются горожанами для передвижения на работу, учебу, для посещения магазина, визитов к друзьям и родственникам, для отдыха в черте города и т.д. Популярность СПМ растет с каждым днем. Это инновационный фактор, который оказывает влияние на развитие рынка городских пассажирских перевозок и транспортной системы в целом. В Республике Беларусь внимание развитию средств персональной мобильности уделяется

на государственном уровне, 18 апреля 2022 года президент Беларуси подписал Указ №145 «О совершенствовании организации дорожного движения» [1]. Указ принят для повышения безопасности на дорогах республики, стимулирования использования СПМ в частности и электро-транспорта в целом. В Указе определен порядок использования средств персональной мобильности.

В связи с обозначившимися перспективами инновационного развития СПМ и адаптации городской инфраструктуры для их использования актуальной задачей становится разработка методического подхода для сравнения различных вариантов городских транспортных систем, предусматривающих использование СПМ, а также для оценки эффективности таких транспортных систем.

Чтобы оценить, каким образом развитие инноваций в области СПМ влияет на транспортную структуру городских пассажирских перевозок, рассмотрим небольшой пример [4]. Ежедневно добираясь из дома на работу, горожанин использует следующую схему: пешком от дома до остановки, ожидание общественного транспорта, движение на наземном транспорте, переход и ожидание метро, движение на метро, далее пешком до места работы. В среднем такой маршрут от дома до работы занимает приблизительно 65 минут. С использованием СПМ, эта схема станет выглядеть следующим образом: до метро горожанин будет ехать на любом удобном для него СПМ, далее переход и ожидание метро, движение на метро, далее снова с использованием СПМ до места работы. Итого 50 мин [2]. В данном случае первый вариант маршрута получился с большими затратами времени (65 мин) и меньшими затратами денежных средств (1,75 руб). Второй вариант – наоборот, быстрее, но дороже (50 мин и 7,7 руб) [5].

Помимо сокращения затрат времени, при перемещении с использованием СПМ исключается передвижение на транспорте с двигателем внутреннего сгорания, и как следствие, сокращаются вредные выбросы. Еще у горожанина появляется свободное время от ожидания и передвижения в общественном транспорте. Также к «плюсам» можно отнести то, что разгружается улично-дорожная сеть и, как следствие, увеличивается скорость движения транспортного потока.

Для планирования маршрута перемещения горожанин использует современные гаджеты: электронные карты (Google, Яндекс), GPS-навигаторы, справочные сайты (kogda.by) и др. Современные средства обладают функциями распознавания прибытия транспорта и его нахождения в данный момент на дороге, демонстрируется весь маршрут, демонстрируется в каких местах собираются пробки, демонстрируется время прибытия на остановку. При планировании маршрута горожанин учитывает, как далеко расположена остановка того или иного вида

транспорта, насколько удобна посадка и пересадка с одного вида транспорта на другой, а также график работы транспорта. Необходимо также помнить о факторах, которые затрудняют функционирование транспорта: ДТП, погодные катаклизмы, ремонты уличной-дорожной сети и т.п. [3].

Одним из возможных способов прогнозирования выбора маршрута горожанином может быть сравнение различных вариантов маршрута передвижения между собой на основе интегрального показателя, рассчитываемого для каждого из вариантов маршрута.

Интегральный показатель I для каждого из вариантов маршрута может быть рассчитан по формуле

$$I = \sum_{i=1}^n (s_i + c_i t_i k_i),$$

где n – количество видов транспорта в рассматриваемом варианте маршрута;

s_i – денежные затраты (оплата) на передвижение горожанина в i -том виде транспорта, руб.;

t_i – затраты времени, проведённого горожанином в i -том виде транспорта, мин.;

c_i – субъективная оценка стоимости минуты, проведённой в i -том виде транспорта в определённых условиях поездки, в баллах;

k_i – коэффициент перевода баллов субъективной оценки стоимости минуты в рубли.

Субъективная оценка c_i стоимости одной минуты, проведённой в определённом виде транспорта, характеризует, насколько тяжело даётся пассажиру эта минута. Например, минута времени, проведённая за рулём личного автомобиля, и минута, проведённая в троллейбусе, субъективно оцениваются пассажиром по-разному. В центре города при интенсивном движении минута «утяжеляется», а на окраине, где движение менее интенсивное, она кажется «легче». Можно образно сказать «одна минута идёт за две». Субъективная оценка c_i будет зависеть от множества факторов, однако в зависимости от решаемой задачи и требуемой точности можно выделить несколько основных факторов и оценить их. Для упрощённого решения рассматриваемой проблемы, будем условно исходить из того, что субъективная оценка c_i в наибольшей степени зависит от вида транспорта. Результаты гипотетической субъективной оценки c_i пассажиром различных видов транспорта а также в режиме ожидания и передвижения пешком, выражаются в баллах по десятибалльной шкале, например: ожидание транспорта – 1 балл, передвижение пешком – 1 балл, передвижение с помощью СПМ – 3 балла, передвижение на наземном пассажирском транспорте – 9 баллов, передвижение в метро – 6 баллов. Коэффициент перевода баллов субъективной оценки стоимости минуты в

рубли k_i в данном расчёте принят равным 0,35 руб./балл. Интегральный показатель для первого маршрута составил 110,25 руб. (при сумме оплаты за проезд 1,75 руб.), а для второго маршрута – 82,95 руб. (при сумме оплаты за поездку 7,7 руб.) [4].

Таким образом, можно ожидать, что в данном гипотетическом примере горожанин выберет второй вариант маршрута, предусматривающий использование СПМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ президента Республики Беларусь от 18.04.2022 №145 «О совершенствовании организации дорожного движения». URL: <https://president.gov.by/ru/events/podpisan-ukaz-o-sovershenstvovanii-organizacii-dorozhnogo-dvizheniya>
2. Эффективность транспортной системы симбиотического города / Д.В. Капский, В.Н. Кузьменко, Д.В. Мозалевский, А.С. Красильникова, М.Г. Карасёва // Проблемы безопасности на транспорте: материалы XI науч.-практ. конф. (Гомель, 25-26.11.2021 г.). В 2 ч. Ч. 2 / М-во трансп. и ком. Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т транспорта; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. Гомель: БелГУТ, 2021. С. 76-77.
3. Основные подходы к стоимостной оценке затрат времени на передвижение населения с использованием городского транспорта / М. Г. Карасёва [и др.] // Информационные технологии в образовании, науке и производстве [Электронный ресурс]: IX Междунар. науч.-техн. интернет-конф., 20-22 ноября 2021 года / сост. Е. А. Хвилько. Минск: БНТУ, 2022. С. 293-300.
4. *Карасёва М.Г.* Роль средств индивидуальной мобильности в современной логистике городских пассажирских перевозок // Бизнес. Образование. Экономика: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 7–8 апр. 2022 г. / редкол.: В.В. Манкевич [и др.]. Минск: Институт бизнеса БГУ, 2022. С. 511-513.
5. *Карасёва М.Г.* Прогнозирование выбора пассажирами маршрута городской поездки с использованием средств персональной мобильности // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии: сб. науч. ст. Вып. 4. Минск: БНТУ, 2022. С. 158-165.

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

О.В. Новожилов, Д.В. Лебедев

Научный руководитель – **Д.В. Лебедев**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматривается вопрос изучения виброакустических свойств материалов, а именно методика проведения лабораторных замеров. Для этого авторами был предложен стенд для определения параметров вибро- и шумопоглощения материалов, применяемых для конструирования кузовных элементов автомобиля. Стенд поможет осуществить корректный подбор материалов.

Ключевые слова: виброакустика, кузовные материалы, лабораторный стенд

STAND FOR THE STUDY OF VIBROACOUSTIC PROPERTIES OF MATERIALS

O.V. Novozhilov, D.V. Lebedev

Scientific Supervisor – **A.E. Lebedev**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

The article deals with the issue of studying the vibro-acoustic properties of materials, namely the methodology of laboratory measurements. For this purpose, the authors proposed a stand for determining the parameters of vibration and noise absorption of materials used for the construction of car body elements. The stand will help to carry out the correct selection of materials.

Keywords: vibroacoustics, vehicle body materials, laboratory stand

Шум является одним из видов загрязнения окружающей среды. Он также оказывает негативное влияние на здоровье человека. Для снижения шумового давления активно применяют звукоизоляционные материалы. В транспортной отрасли также огромную роль играет снижение проникающего воздействия шумов, имеющих виброакустическую природу, в салон транспортных средств, оказывая негативное влияние на пассажиров и водителя. Для предотвращения негативного влияния шумов применяют различные звукоизоляционные материалы. Также важную роль играют и сами кузовные конструкционные материалы. Для исследования свойств звукоизоляции салона автомобиля требуется провести лабораторные испытания.

Механизмы шумообразования многочисленны, но в случае с исследованием свойств шумоизоляционных материалов автомобильного салона можно классифицировать несколько источников:

- звуковые колебания окружающей среды, передающиеся по воздуху;
- звуковые колебания, испускаемые механизмами транспортного средства, передающиеся по воздуху;
- ударное воздействие абразива, поднимаемого воздушными потоками во время движения транспортного средства.

Измерение шума может производиться как в лабораторных условиях, так и при ходовых испытаниях. Однако для более точного подбора кузовных материалов и материалов звукоизоляции при конструировании транспортных средств практичнее прибегать к стендовым испытаниям в лабораторных условиях для того, чтобы нивелировать взаимовлияние источников шума. Это необходимо учитывать, так как шум, испускаемый разными источниками, имеет разную природу и характеризуется разным амплитудно-частотным диапазоном. При этом нам необходимо исследовать эффективность шумоизоляции различных материалов в отношении к шумам, имеющим различную природу возникновения.

Для этого предлагается разработать стенд для исследования виброакустических свойств материалов. Принципиальная схема изображена на рис. 1.

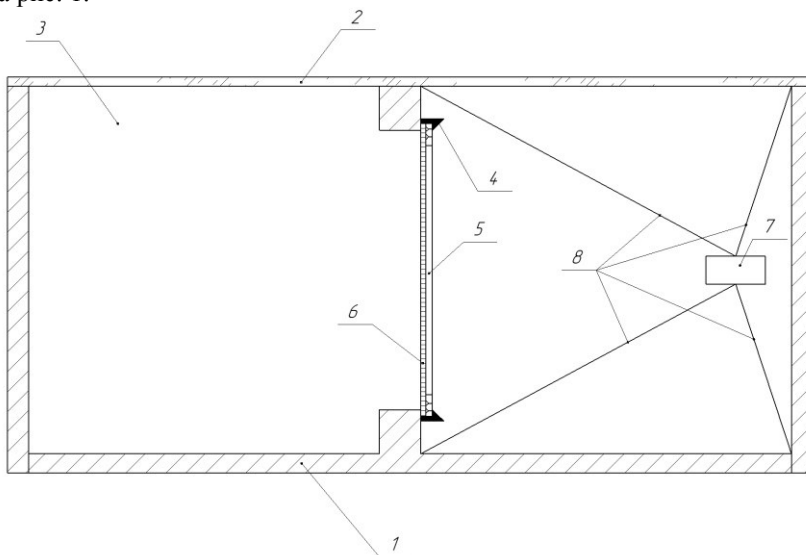


Рис. 1. Схема стенда для исследования виброакустических свойств материалов:

- 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – камера для засыпки абразива; 4 – зажим;
5 – испытуемый материал; 6 – крепёжная рама; 7 – микрофон; 8 – стропы

Для проведения анализа материалов и изучения их способности шумоизоляции и звукопоглощения в камеру стенда 3 засыпается абразивный материал, который при встряхивании стенда соударяется с испытуемым материалом 5, закреплённом на рамке 6 кронштейнами 4. В это время во второй камере стенда микрофон 7, закреплённый на упругих стропях 8 для избежания передачи корпусных колебаний, осуществляет запись звукового сигнала, исходящего со стороны испытуемого материала. Звук далее передаётся на блок вычислений, где по заданным алгоритмам производится амплитудно-частотный анализ. Таким образом можно производить исследование свойств звукопроницаемости и поглощения шумов, имеющих виброакустическую природу.

Стоит отметить, что для более корректного захвата данных для последующего анализа рекомендуется применять звуко- и виброизоляционные материалы для внутреннего покрытия корпуса 1 стенда и крышки 2.

Помимо измерений с засыпаемым абразивом можно также помещать в камеру 3 стенда другие источники звука, например, динамики с предзаписанным звуковым сигналом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кузнецов Е.С.* Управление технической эксплуатацией автомобилей. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1990. 272 с.
2. *Павлов Б.В.* Акустическая диагностика механизмов. М.: Машиностроение, 1971. 224 с.
3. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практик. пособие / И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов; под ред. В.В. Сухорукова. М.: Высш. шк., 1991. 283 с.
4. *Бодров В.А., Перцев А.В., Шкарин С.Г.* Методологические основы комплексной оценки внешних факторов при испытаниях автомобилей: Учеб. пособие для студентов / ЯрПИ. Ярославль, 1989. 83 с.

УДК 621.45.018.2

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭРГОНОМИКИ КАБИН АВТОМОБИЛЕЙ

К.С. Федченко, Д.В. Лебедев, Т.М. Гусева

Научный руководитель – **Д.В. Лебедев**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

В статье исследуются проблемы изучения конструкции автомобилей, а именно эргономика и принципы разработки и конструирования автомобилей разного вида кузова. Авторами предлагается учебный стенд, который будет полезен на начальных этапах проектирования автомобиля и найдет применение в различных учебных заведениях, а также как учебное пособие в официальных автосалонах и на заводах по производству автомобилей.

Ключевые слова: лабораторный стенд, рулевое управление, автомобиль, эргономика, салон, кабина

STAND FOR THE STUDY OF ERGONOMICS OF CAR CABINS

K.S. Fedchenko, D.V. Lebedev

Scientific Supervisor – **D.V. Lebedev**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

The article explores the problems of studying the design of cars, namely ergonomics and principles of development and construction of cars of different body types. The authors propose a training stand that will be useful at the initial stages of designing cars and will find application in various educational institutions, as well as as a textbook in official car dealers and car manufacturing plants.

Keywords: laboratory stand, steering, car, ergonomics, interior, cabin

Как нам известно, конструкции рулевого управления бывают различных типов. Обусловлено это такими факторами как; конкуренция среди производителей, назначение рулевого управления (грузовые или легковые, скоростные автомобили), а также это связано с самой конструкцией автомобилей.

Рулевой механизм играет важную роль в системе управления автомобилем. Не зря во всех научных источниках ее описывают в совокупности с тормозной системой.

Основой идеи создания стенда послужил тот факт, что при изучении конструктивных особенностей автомобиля в учебных заведениях ограничены углы регулировки наклона рейки, что не даёт понять принцип создания эргономики кабины под различные типы кузовов и режимы управления автомобилем. Было принято решение о создании копии рулевого управления для дальнейшего его исследования.

Испытания – неотъемлемый этап создания новых изделий, а также многих технологических процессов. В зависимости от вида и сложности изделия, а также его потенциальной опасности, испытаниям подвергаются составные части или все изделие в собранном виде. Виды и методы, а также требования к схеме испытательного оборудования, регламентированы рядом нормативных актов, имеющих международный, национальный и отраслевые статусы.

Стенд рулевого управления не подлежит обязательной сертификации, так как согласно ГОСТ 23594-79, связанный с монтажом и подключением оборудования имеет исключения. Требования не распространяются на следующие виды стендов: те, которые проверяют неэлектрические параметры изделия; те, которые проводят механические тестирования.

В ходе создания нашего стенда заложена идея проведения лабораторных работ, в основе которых лежат субъективные методы диагностики механизма: визуальный осмотр, прослушивание работы механизма, тактильная проверка механизма, заключение о техническом состоянии на основании логического мышления.

Проделанная нами работа может квалифицироваться не только как учебно-лабораторное пособие. В целом сам стенд можно использовать как учебное пособие для обучения механиков, работающих в зонах технического обслуживания и ремонта автомобилей. Собранное нами оборудование можно также использовать на стадии проектирования рулевого механизма в стадии создания новой модели автомобиля. К примеру, изменяя вид кузова родстер Крым, изменяя посадку водителя (изменяемое угол наклона кресло или ковш), то соответственно должно меняться положение руля, то есть регулироваться. Однако одной регулировкой наклона рулевой колонки можно не обойтись, и придется регулировать угол наклона самой рейки. Наш стенд имеет возможность изменения обеих областей регулировки.

Для этого предлагается разработать стенд для подбора эргономики кабины автомобиля. Принципиальная схема изображена на рис. 1.

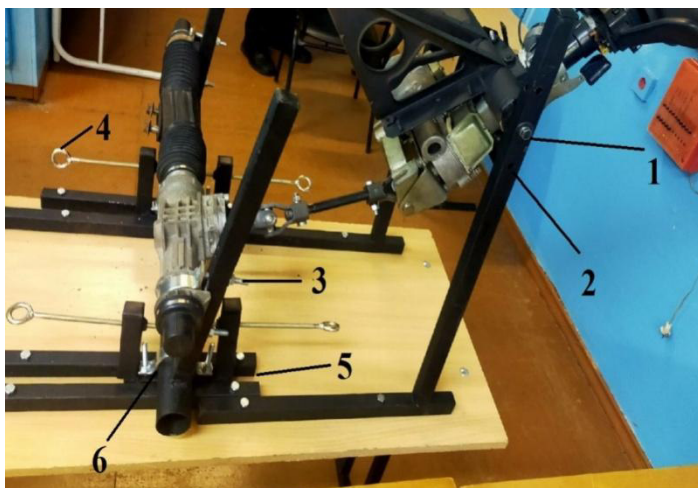


Рис. 1. Схема стенда для подбора эргономики кабины автомобиля:

1 – регулировка угла наклона рулевого вала; 2 – регулировка высоты положения рулевого вала; 3 – регулировка рейки по высоте; 4 – регулировка угла наклона рейки; 5 – регулировка длины рулевого вала; 6 – смещение рулевого управления относительно оси автомобиля

Данный стенд будет дополняться иными элементами салона (кабины) автомобиля для более детального изучения особенностей эргономики автомобилей с различным видом кузова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зайцев С.А.* Основы эргономики и дизайна автомобилей и тракторов: учеб. пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2012. 123 с.
2. Основы эргономики и дизайна автомобилей и тракторов: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автомобиле- и тракторостроение" направления подготовки дипломир. специалистов "Трансп. машины и трансп.-технол. комплексы / ред. В.М. Шарипов. М.: Academia, 2005. 248 с.
3. Автомобили и тракторы. Основы эргономики и дизайна: учебник для студентов вузов / И.С. Степанов, А.Н. Евграфов, А.Л. Карунин, В.В. Ломакин, В.М. Шарипов; под общ. ред. В.М. Шарипова. М.: МГТУ «МАМИ», 2002. 230 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ “FORD FOCUS II”

И.М. Шундрик, В.В. Иродов, Т.В. Погодина

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

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматривается влияние давления в шинах на устойчивость автомобиля “Ford Focus II”. Определены основные зависимости изменения поведения автомобиля на дороге от давления в шинах, связанные с обеспечением безопасности его движения в рамках Правил дорожного движения.

Ключевые слова: давление, шина, эксплуатационные свойства, устойчивость, боковой увод

STUDYING THE EFFECT OF TIRE PRESSURE ON THEIR RESOURCE AND STABILITY OF THE VEHICLE “FORD FOCUS II”

I.M. Shundrick, V.V. Irodov, T.V. Pogodina

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

Yaroslavl State Technical University

The article discusses the effect of tire pressure on vehicle “FORD FOCUS II” stability. The main dependences of the change in the behavior of the car on the road on the pressure in the tires, associated with ensuring the safety of its movement within the framework of the Rules of the Road, are determined.

Keywords: pressure, tire, operational properties, stability, lateral slip

В процессе работы проводились исследования влияния давления в шинах автомобиля на самопроизвольное боковое отклонение от заданного курса, в условиях сухого асфальтобетонного покрытия.

На самопроизвольный боковой увод автомобиля влияет множество факторов: состояние дорожного полотна, боковой ветер, техническое

состояние элементов подвески и рулевого управления, давление в шинах автомобиля и т.д. [1].

В данной работе проведена серия экспериментов, на основании которых выявлена зависимость между самопроизвольным отклонением транспортного средства от заданной водителем траектории и давлением в шинах автомобиля.

Для проведения исследований был выбран автомобиль «Ford Focus II». Год выпуска – 2010; тип кузова – седан; привод – передний; двигатель – 2,0 литра, мощностью 145 л.с. МКПП - 5 передач; пробег – 223 000 км. Автомобиль в технически исправном состоянии.



Рис. 1. Автомобиль «Ford Focus II»

На автомобиле устанавливались зимние шины Hankook Winter Icepti Z2W616, размерностью 195/65R15 95T и летние шины Hankook Kinergy Eco 2K435, размерностью 195/65 R15 95T (рис. 2).



Рис. 2. Летние шины Hankook Kinergy Eco 2K435 и зимние шины Hankook Winter Icepti Z2W616

Износ шин равномерный, в установленных нормативами пределах. Методика проведения эксперимента и схемы давления в шинах изложена в литературном источнике [3].

Для выявления не учтённых факторов, первые заезды проводились с одинаковым штатным давлением во всех шинах 2.2 атм. (зимниешины) и 2.1 атм. (летние шины) соответственно. Боковой увод практически отсутствует.

Результаты заездов на зимней резине с вариацией давления в шинах передней и задней оси показали, что большее влияние на боковой увод оказывает состояние уплотненного снежного покрова (УСП), а не разность давления в шинах.

На основании этого, в процессе дальнейшей работы проводились исследования влияния давления в шинах автомобиля на самопроизвольное боковое отклонение от заданного курса, в условиях сухого асфальто-бетонного покрытия.

Результаты заездов сводились в таблицы для дальнейшей их аппроксимации.

Результаты аппроксимации величины бокового увода автомобиля от разности давлений в шинах передней и задней оси автомобиля представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты аппроксимации зависимостей

Колесо	Увод	Аппроксимация
Переднее левое	влево	$Y=0,1*X+2,3$
Переднее правое	вправо	$Y=-0,1*X+2,3$
Заднее левое	влево	$Y=0,12*X+2,3$
Заднее правое	вправо	$Y=-0,12*X+2,3$

Результаты серии заездов и выполненные расчеты показали следующее:

- на управляемость автомобиля существенное влияние оказывает разность давления в шинах;
- повышенное или пониженное давление в отдельно взятых шинах передней и задней оси автомобиля, влечёт за собой самопроизвольное отклонение транспортного средства от заданной траектории движения;

Для обеспечения предписанного поведения автомобиля на дороге и обеспечения безопасности движения необходимо соблюдать рекомендации завода-производителя о значениях давления в шинах передней и задней оси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Причины увода автомобиля от прямолинейного движения. URL: <https://edukr.ru/the-steering-of-the-car/the-car-leads-to-the-side-the-reasons-for-driving-the-car-from-rectilinear-movement/> (датаобращения:15.03.2022)
2. Методы обработки экспериментальных данных: сб. учебно-метод. материалов для магистров направления подготовки 03.04.01 – «Прикладные математика и физика» / сост. И.Б. Копылова. Благовещенск: АмГУ, 2017.
3. Горячев П.А. Исследование влияния давления в шинах на устойчивость автомобиля / П.А. Горячев, В.В. Иродов, Т.В. Погодина // Семьдесят пятая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с междунар. участием. 20-21 апреля 2022 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 1. ЯГТУ: Изд-во ЯГТУ, 2022. С. 556-562. 1 CD-ROM.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ “DAEWOO NEXIA”

С.А. Устенко, В.В. Иродов, Т.В. Погодина

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

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматривается влияние давления в шинах на устойчивость автомобиля “Daewoo Nexia”. Определены основные зависимости изменения поведения автомобиля на дороге от давления в шинах, связанные с обеспечением безопасности его движения в рамках Правил дорожного движения.

***Ключевые слова:** давление, шина, эксплуатационные свойства, устойчивость, боковой увод*

STUDYING THE EFFECT OF TIRE PRESSURE ON THEIR RESOURCE AND STABILITY OF THE VEHICLE “DAEWOO NEXIA”

S.A. Ustenko, V.V. Irodov, T.V. Pogodina

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

Yaroslavl State Technical University

The article discusses the effect of tire pressure on vehicle “DAEWOO NEXIA” stability. The main dependences of the change in the behavior of the car on the road on the pressure in the tires, associated with ensuring the safety of its movement within the framework of the Rules of the Road, are determined.

***Keywords:** pressure, tire, operational properties, stability, lateral slip*

В данной работе проводилось исследование влияния давления в шинах автомобиля на самопроизвольное боковое отклонение его от заданного курса, в условиях сухого асфальтобетонного покрытия.

На самопроизвольный боковой увод автомобиля влияет множество факторов: состояние дорожного полотна, боковой ветер, техническое состояние элементов подвески и рулевого управления, давление в шинах автомобиля и т.д. [1]. Существенное влияние на боковой увод автомобиля оказывает давление в шинах.

В рамках проведения данной работы выполнено несколько серий экспериментов, на основании которых была выявлена зависимость между самопроизвольным отклонением транспортного средства от заданной траектории и давлением в его шинах.

Для проведения исследований был выбран автомобиль «Daewoo Nexia» (рис. 1). Год выпуска – 2009; Тип кузова – седан; Привод – передний; Двигатель – 1,5 литра, мощностью 58,8 кВт/80 л.с. МКПП - 5 передач; Пробег – 150 000 км. Автомобиль в технически исправном состоянии.



Рис. 1. Автомобиль «Daewoo Nexia»

На автомобиле устанавливались зимние шины Cordiant Snow Cross, размерностью 175/65 R14 82Т и летние шины Cordiant Comfort 2, размерностью 175/65R1486H.



**Рис. 2. Зимние шины Cordiant Snow Cross (а)
и летние шины Cordiant Comfort 2 (б)**

Износ шин равномерный, в установленных нормативами пределах.

Методика проведения эксперимента и схемы давления в шинах изложена в литературном источнике [3].

Для исключения влияния не учтённых факторов, первые заезды проводились с одинаковым штатным давлением во всех шинах 2.1 атм. (зимние шины) и 2.0 атм. (летние шины) соответственно. Боковой увод в этих заездах практически отсутствует.

Результаты заездов сводились в таблицы. В таблицах 1 и 2 приведены фрагменты для зимних и летних шин.

Таблица 1. Результаты заездов, проведенных на зимних шинах (фрагмент)

№ эксперимента	Направление увода	Величина увода, м	Дистанция, м
1	влево	3,6	280
2	влево	3,4	125
3	вправо	3,5	312,5
4	вправо	3,3	130

Таблица 2 – Результаты заездов, проведенных на летних шинах (фрагмент)

№ эксперимента	Направление увода	Величина увода, м	Дистанция, м
1	влево	3,5	100
2	влево	2	120
3	вправо	1,75	90
4	вправо	3,5	110

Результаты заездов на зимней резине показали, что большее влияние на боковой увод оказывает состояние уплотненного снежного покрова (УСП), а не разность давления в шинах.

На основании полученных данных, для заездов на летней резине, были построены графики зависимости величины бокового увода автомобиля от давления в шинах и выполнена их аппроксимация (рис. 3-6) [2].

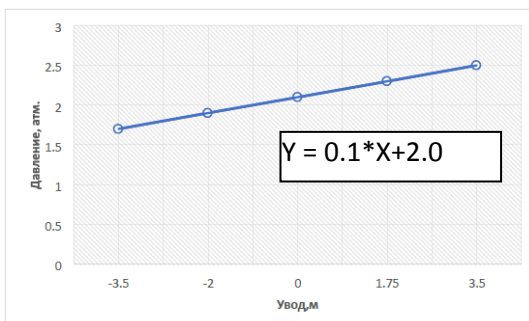


Рис. 3. Зависимость бокового увода автомобиля от изменения давления в переднем левом колесе

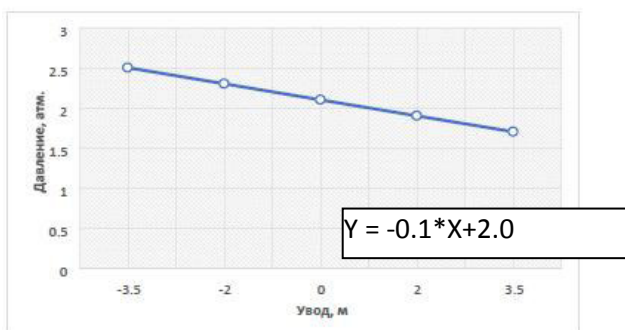


Рис. 4. Зависимость бокового увода автомобиля от изменения давления в переднем правом колесе

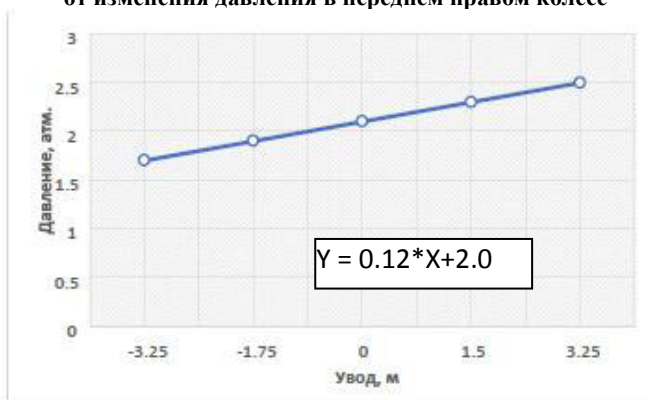


Рис. 5. Зависимость бокового увода автомобиля от изменения давления в заднем (ведущем) левом колесе

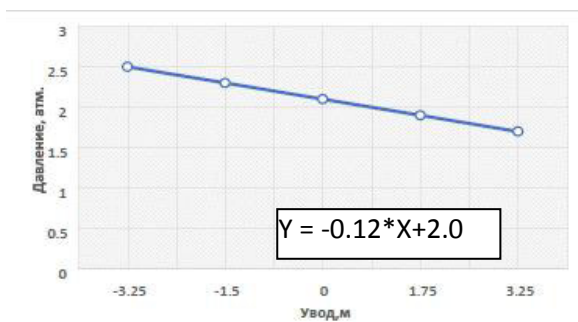


Рис. 6. Зависимость бокового увода автомобиля от изменения давления в заднем (ведущем) правом колесе

Результаты серии заездов и выполненные расчеты показали следующее:

- давление в шинах автомобиля существенно влияет на его управляемость;
- при пониженном давлении в шинах возрастает значение сопротивления качению колеса по дорожному полотну, а при повышенном – наоборот;
- повышенное или пониженное давление в отдельно взятых шинах автомобиля, неизбежно влечёт за собой самопроизвольное отклонение транспортного средства от заданной траектории;
- отклонение давления в шинах от регламентированного современем приводит к неравномерному и преждевременному износу покрышек.

Для регламентированного поведения автомобиля на дороге, обеспечения безопасности движения и реализации срока службы покрышек необходимо соблюдать рекомендации завода-производителя о значении давления в шинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Причины увода автомобиля от прямолинейного движения. URL: <http://100autoremont.ru/poleznaya-informaciya/prichiny-uvoda-avtomobilya-ot-pryamolinejnogo-dvizheniya> (дата обращения: 17.09.2020).
2. Методы обработки экспериментальных данных: сб. учеб.-метод. материалов для магистров направления подготовки 03.04.01– «Прикладные математика и физика» / сост. И.Б. Копылова. Благовещенск: АмГУ, 2017.
3. Слисенко М.Э. Исследование влияния давления в шинах на устойчивость автомобиля / М.Э. Слисенко, В.В. Иродов, Т.В. Погодина // Семьдесят пятая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с междунар. участием. 20-21 апреля 2022 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 1. ЯГТУ: Изд-во ЯГТУ, 2022. С. 544-548. 1 CD-ROM.

УДК 629.331

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ “KIA RIO”

А.Н. Рогозин, В.В. Иродов

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

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматривается влияние давления в шинах на устойчивость автомобиля “ KIA RIO”. Определены основные зависимости изменения поведения автомобиля на дороге от давления в шинах, связанные с обеспечением безопасности его движения в рамках Правил дорожного движения.

***Ключевые слова:** давление, шина, эксплуатационные свойства, устойчивость, боковой увод.*

STUDYING THE EFFECT OF TIRE PRESSURE ON THEIR RESOURCE AND STABILITY OF THE VEHICLE “KIA RIO”

A.N. Rogozin, V.V. Irodov

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

Yaroslavl State Technical University

The article discusses the effect of tire pressure on vehicle “KIA RIO” stability. The main dependences of the change in the behavior of the car on the road on the pressure in the tires, associated with ensuring the safety of its movement within the framework of the Rules of the Road, are determined.

***Keywords:** pressure, tire, operational properties, stability, lateral slip*

На самопроизвольный боковой увод автомобиля влияет множество факторов: состояние дорожного полотна, боковой ветер, техническое состояние элементов подвески и рулевого управления, давление в шинах автомобиля и т.д. [1].

В рамках проведения данной работы выполнено несколько серий экспериментов, на основании которых была выявлена зависимость между самопроизвольным отклонением транспортного средства от заданной траектории и давлением в его шинах.

Для проведения исследований был выбран автомобиль «KIA RIO» (рис. 1). Год выпуска – 2021; тип кузова – седан; привод – передний; двигатель – 1,6 литра, мощность 123 л.с. АКПП - 6 передач; пробег – 22 000 км. Автомобиль в технически исправном состоянии.



Рис. 1. Автомобиль «KIA RIO»

На автомобиле устанавливались зимние шины Nokian Nordman 7 XL, размерностью 195/55 R16 91T (рис. 2).



Рис. 2. Зимние шины Nokian Nordman 7 XL

Износ шин равномерный, в установленных нормативами пределах. Методика проведения эксперимента и схемы давления в шинах изложена в литературном источнике [3].

Результаты заездов на зимней резине показали, что большее влияние на боковой увод оказывает состояние УСП, а не разность давления в шинах (рис. 3).

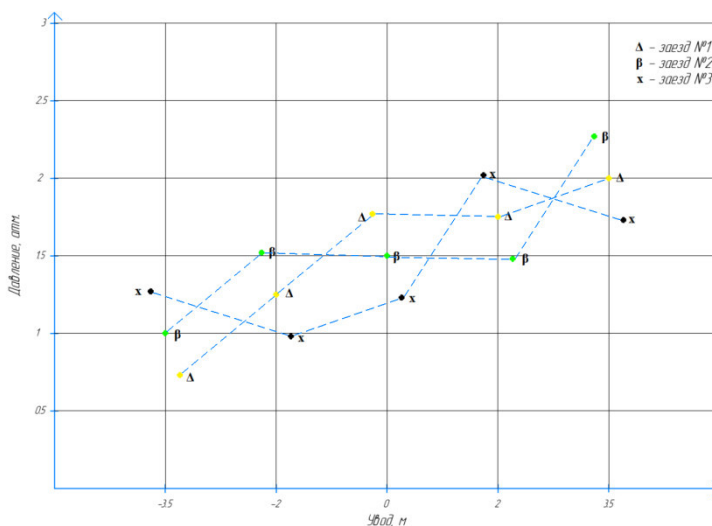


Рис. 3. Зависимость бокового увода автомобиля от давления в переднем левом колесе

В дальнейшей работе проводилось исследование влияния давления в шинах автомобиля на самопроизвольное боковое отклонение его от заданного курса, в условиях промороженного асфальтобетонного покрытия без наличия уплотненного снежного покрова (УСП).

Для исключения влияния не учтённых факторов, первые заезды проводились с одинаковым штатным давлением во всех шинах 2,3 атм. (зимние шины). Боковой увод в этих заездах практически отсутствует.

На основании полученных данных, для заездов на зимней резине, была выполнена их аппроксимация [2].

Результаты аппроксимации представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты аппроксимации

Колесо	Увод	Аппроксимация
Переднее левое	влево	$Y = 0,1 * X + 2,3$
Переднее правое	вправо	$Y = -0,1 * X + 2,3$
Заднее левое	влево	$Y = 0,12 * X + 2,3$
Заднее правое	вправо	$Y = -0,12 * X + 2,3$

Результаты серии заездов и выполненные расчеты показали следующее:

- давление в шинах автомобиля существенно влияет на его управляемость;

- повышенное или пониженное давление в отдельно взятых шинах автомобиля, неизбежно влечёт за собой самопроизвольное отклонение транспортного средства от заданной траектории;

Для регламентированного поведения автомобиля на дороге и обеспечения безопасности движения необходимо соблюдать рекомендации завода-производителя о значениях давления в шинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Причины увода автомобиля от прямолинейного движения. URL: <https://akppzapchast.ru/uvod-avtomobilya-ot-pryamolineynogo-dvizheniya-prichiny/> (датаобращения: 16.03.2023).
2. *Косарев Е.Л.* Методы обработки экспериментальных данных. 2-е изд., перераб. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 208 с.
3. Горячев П.А. Исследование влияния давления в шинах на устойчивость автомобиля / П.А. Горячев, В.В. Иродов, Т.В. Погодина // Семьдесят пятая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов с междунар. участием. 20-21 апреля 2022 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 1. ЯГТУ: Изд-во ЯГТУ, 2022. С. 556-562. 1 CD-ROM.

УДК 629.332

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ БЮДЖЕТНОГО ЖИЛОГО ПРИЦЕПА СО ВСЕМИ БЫТОВЫМИ УДОБСТВАМИ

Д.А. Куприянова, А.В. Соколов

Научный руководитель – **А.В. Соколов**, канд. техн. наук

Ярославский государственный технический университет

Описана процедура выбора оптимальной конструкции бюджетного жилого легкового автомобильного прицепа оснащенного всеми бытовыми удобствами. Особенностью прицепа является использование во всех энергетических устройствах сжиженного метана.

Ключевые слова: бюджетный жилой прицеп со всеми удобствами, сжиженный природный газ

CHOOSING THE OPTIMAL DESIGN OF A BUDGET RESIDENTIAL TRAILER WITH ALL HOUSEHOLD AMENITIES

D.A. Kupriyanova, A.V. Sokolov

Scientific Supervisor – **A.V. Sokolov**, Candidate of Technical Sciences

Yaroslavl State Technical University

The procedure for choosing the optimal design of a budget residential passenger car price equipped with all household amenities is described. A special feature of the trailer is the use of liquefied methane in all energy devices.

Keywords: budget residential trailer with all amenities, liquefied natural gas

На кафедре «Автомобильный транспорт» в 2023 г. защищена магистерская выпускная работа по жилому автоприцепу на базе 3,5 метрового прицепа Койра. На защите присутствовали 4 генеральных, технических и коммерческих директора различных автофирм, подтвердившие интерес к партнерским отношениям в области постройки опытного образца жилого прицепа в габарите 2,8 м на базе кафедры АТ. Достигнуто соглашение с Институтом экономики и менеджмента ЯГТУ о совместной работе над дипломом как стартапом в области маркетинговых исследований, бизнес-

планирования, организации производства и проката, а также социального среза потенциальных покупателей бюджетных жилых прицепов с полным комплексом удобств.

Жилые прицепы-“Капля” уже максимально цивилизованный вариант для отдыха на дикой природе. Это классические кемперы, которые некоторые успешно делают своими руками. Эти автоприцепы создают все условия, чтобы приблизить вас к нахождению на даче или в собственном доме.

Основное предназначение прицепа кемпер до 750 кг для легкового автомобиля – отдых и путешествия. В некоторых случаях подобные конструкции применяются во время исследовательских и рабочих поездок. Технически трейлеры устроены достаточно просто. Кроме того, не большие габариты упрощают управление, плюс во время движения люди внутри находиться не должны.

Чтобы использовать прицеп автодом до 750 кг, потребуется наличие водительского удостоверения категории “B”. Кроме того, следует помнить о необходимости оформления дополнительного пакета документов на сам прицеп. Обязательна регистрация в ГИБДД, получение отдельного регистрационного номера. Для старых конструкций потребуется прохождение ТО. Некоторые умельцы, вместо покупки предпочитают использовать самодельные конструкции. Следует помнить, что и на них распространяется ряд правил и требований. В первую очередь данное сооружение должно соответствовать технике безопасности. Для этого трейлер проходит специальную комиссию, по результатам которой водителю выдается соответствующий сертификат. Кроме того, самодельные конструкции также подлежат регистрации в ГИБДД, постановке на учет. Собственник получает отдельные номера для трейлера. В ином случае, владельцу грозит штраф.

Рассмотрим конкретный пример прицепа типа прицеп-“Капля”.

Прицеп-капля “Capsula”.

Компания находится в подмосковном Наро-Фоминске. И это одно из ближайших к Москве производств прицепов. Фишка “Капсулы” - плоские окошки-иллюминаторы.

Стены, крыша выполнены из сэндвич-панелей. Внешний слой - стекловолокно, утепление - вспененный полистирол, внутренняя часть - фанера, покрытая лаком. Мебель построена из высококачественной фанеры. Сэндвич-панели имеют закладные для надежного крепления мебели и кабель-каналы для прокладки электрики. Годами проверенные технологии Petsun были в точности реализованы на производстве в Наро-Фоминске.

Крышка кухни сделана до самого бампера. Это решает проблему грязи и немного закрывает сверху от дождя, но при этом крышка имеет

большие размеры, а следовательно, вес и парусность в открытом состоянии. Каплевидная форма не совсем функциональна и носит больше эстетический характер.



Рис. 1. Прицеп-капля “Capsula”

Заключение

Оптимальной конструкцией бюджетного прицепа можно назвать прицеп-каплю по следующим причинам:

1. Относительно небольшой размер и вес. Это позволяет буксировать данный прицеп на любом легковом автомобиле за счёт небольшого веса до 750 кг. Также это ограждает от необходимости приобретения прав категории “Е”.

2. Больше свободы передвижения и по городу, и вне города. Небольшой размер даёт больше возможностей для маневра в городе, а на трассе относительно небольшой вес не так нагружает автомобиль и не сильно сказывается на расходе топлива и тормозном пути.

3. Простота обслуживания – технически трейлеры устроены достаточно просто.

4. Доступная ценовая категория, упрощенная процедура покупки. Оформление документов в данном случае минимально.

5. Все удобства есть. Био-туалет и душ в выносной палатке на улице, газовая плита, холодная/горячая вода для душа и кухни, холодильник на газу, микроволновка, кондиционер, электрическое освещение и розетки 12 и 220 В.

6. Топливом служит СПГ (сжиженный природный газ).

Однако у такого типа автоприцепа есть и минусы:

1. Скосы и закругления имеют чисто декоративный характер и не влияют положительно на характеристики прицепа.

2. Нужно будет заранее позаботиться о месте для хранения. Даже самый маленький трейлер является достаточно громоздким и может поместиться далеко не в каждый гараж. Также его вряд ли можно будет просто оставить у подъезда.

3. Передвижение и поиск места для парковки могут вызвать трудности. Далеко не везде и не всегда можно будет заехать и остановиться с прицепом-домом. Это касается не только городских условий, но также и территории дачи, кемпинга и даже леса.

4. Не полноприводный – хоть и существуют прицепы-дачи, рассчитанные на бездорожье, тем не менее с большим домом на колесах в горы не поедешь. И для нас это стало главным недостатком, потому что путешествовать мы любим не только по хорошим асфальтированным дорогам, да и живем в горной местности.



Рис. 2. Прицеп-“Капля”

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дома на колесах, прицепы, фургоны от компании Petsun. URL: <https://petsun.ru/product>
2. <https://dzen.ru/a/Y1LudYSobl0vSyDv>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА ЗАЩИТНЫХ СМАЗОК

А.А. Качков, В.А. Фомин, А.В. Маркелов, В.В. Соловьев

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

Ярославский государственный технический университет

В настоящее время проблема максимальной экономии и рационального использования нефтепродуктов, в том числе смазочных масел на минеральной основе, приобрела особую актуальность. На решение этой задачи направлен ряд мероприятий по улучшению сбора и использования отработанных нефтепродуктов, в первую очередь смазочных масел. Представленные в настоящей работе исследования показывают возможность использования отработанных моторных очищенных масел для получения эффективных консервационных пластичных смазок, в результате уменьшается расход свежих базовых масел и дорогостоящих защитных присадок.

Ключевые слова: масла функционального назначения, отработанные масла, узел трения, консервационная пластичная смазка

USE OF USED OILS AS A COMPONENT OF PROTECTIVE LUBRICANTS

A.A. Kachkov, V.A. Fomin, A.V. Markelov, V.V. Solovyov

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

Yaroslavl State Technical University

At present, the problem of maximum savings and rational use of petroleum products, including mineral-based lubricating oils, has become particularly relevant. To solve this problem, a number of measures are aimed at improving the collection and use of waste oil products, primarily lubricating oils. The studies presented in this paper show the possibility of using used refined motor oils to obtain effective conservation greases, as a result, the consumption of fresh base oils and expensive protective additives is reduced.

Keywords: functional oils, waste oils, friction unit, conservation grease

В условиях хронического дефицита нефтепродуктов и его интенсивного прогрессирования особенно актуальными являются вопросы экономного и рационального применения масел, прежде всего за счет увели-

чения срока их смены в технике с целью повышения продолжительности использования масел по прямому функциональному назначению. Поскольку чрезмерно продолжительная работа масла в узле трения снижает его надежность и в то же время излишне частая смена масла может привести к его значительному перерасходу, то приходится находить оптимальное решение одновременно для двух, прямо противоположных технических задач. Известно, что масла любого функционального назначения в процессе применения ухудшают свои эксплуатационные свойства («стареют»), что приводит к необходимости смены масла и утилизации отработанных продуктов.

Однако даже в ранних работах было показано, что отработанные масла обладают высоким уровнем защитных свойств, и по отдельным показателям защитной эффективности сравнимы с консервационными маслами [1]. Вероятно, это связано с накоплением в товарных маслах в процессе работы двигателей продуктов окисления, обладающих поверхностно-активными свойствами. Высокие защитные свойства и низкая стоимость позволяют использовать отработанные масла в качестве сырья для производства средств временной противокоррозионной защиты.

В данной работе исследовалась возможность использования отработанных масел в качестве компонента консервационных смазок типа пушечной смазки ПВК в состав которой входят: церезин, защитная присадка МНИ-7, базовое масло М-40 [2].

В табл. 1 приведены результаты исследований физико-химических свойств различных образцов отработанных масел, используемых в качестве масляной основы в составе пушечной смазки ПВК (ГОСТ 19537-74 Смазка пластичная ПВК. Технические условия, ГОСТ 19537-83 Смазка пушечная. Технические условия) взамен масла М-40, а в табл. 2 – реологические и защитные свойства пластичных смазок типа ПВК, полученных на основе использования данных образцов отработанных масел. Защитные свойства исследуемых продуктов оценивались по методам ГОСТ 9.054-75 на пластинах из Ст. 10 по методике приведенной в работе [3].

Таблица 1. Физико-химические свойства образцов отработанных масел

Показатели	Образцы отработанных масел				
	1	2	3	4	5
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм ² /с	5,01	7,10	12,06	8,36	9,23
Температура вспышки в открытом тигле, °С	165	138	232	173	211
Содержание, % мас.:					
механических примесей	2,0	0,5	0,7	0,6	1,2
воды	4,5	0,6	0,4	1,3	0,8

Таблица 2. Физико-химические и эксплуатационные свойства опытных образцов смазок на отработанных моторных маслах

Показатели	Смазка пушечная, ПВК, ГОСТ 11953-74 ГОСТ 19537-83	Образцы смазок				
		1	2	3	4	5
Температура, °С:						
Каплевания	60	56	74	64	54	52
Сползания	50	55	58	56	52	52
Предел прочности на сдвиг, Па, при температуре, °С:						
20	1000–2500	2000	2000	2000	1690	1660
50	50–180	0	0	20	35	30
Кислотное число, мг КОН/г	0,5–1,0	0,92	1,21	1,72	1,81	1,26
Вязкость, Па·с, при температуре, °С:						
20	100–400	180	190	185	175	160
50	0,5–0,6	0,9	1,2	1,1	0,9	1,0
Защитные свойства, ГОСТ 9.054-75. потеря массы, г/м ² :						
Камера сернистого ангидрида, 1 цикл	2,0	2,9	2,9	2,4	2,0	2,2
Камера влажности, 100 циклов	2,8	2,6	2,7	2,9	3,0	2,6
Погружение в электролит, 30 циклов	8,8	8,5	8,9	9,1	9,3	8,6
Испытание на коррозию, ГОСТ 5757-67		Выдерживает				

Данные табл. 2 показывают, что использование образцов отработанных масел с различными физико-химическими свойствами приводит к изменению реологических свойств смазок на их основе. Так, температура каплевания изменяется в пределах 52–74 °С, кислотное число – от 0,92 до 1,81 мг КОН/г; снижается предел прочности при 50 °С по сравнению со стандартной смазкой ПВК. Однако существенного влияния на эксплуатационные (защитные) свойства это не оказывает. При испытаниях образцов смазок в камере сернистого ангидрида потеря массы стальных пластин составляет от 2,0 до 2,9 г/м², что соответствует уровню защитных свойств стандартной смазки ПВК.

В дальнейшей работе была изучена возможность получения защитной смазки типа ПВК без добавления защитной присадки МНИ-7. С этой целью был взят образец масла 4, очищенный центрифугированием, и на его основе приготовлены два опытных образца смазок (обр. 4 и 5). Образец 5 отличается от образца 4 отсутствием в составе защитной присад-

ки МНИ-7. Результаты исследования защитных свойств показали, что смазка ПВК, приготовленная в соответствии с ГОСТ 19537-74, а также опытные образцы смазок 4 и 5 по уровню защитных свойств примерно равноценны (см. табл. 2). Следовательно, наличие в составе опытных образцов смазок отработанного масла позволяет заменить не только свежее базовое масло М-40, но и защитную присадку МНИ-7.

Таким образом, проведенные исследования показывают возможность использования отработанных моторных очищенных масел для получения эффективных консервационных пластичных смазок (типа ПВК), в результате уменьшается расход свежих базовых масел и дорогостоящих защитных присадок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Защитные свойства отработанных моторных масел / В.П.Лазаренко, Е.А. Тишина, Ф.Н. Ермолов, Е.С. Чуршуков, А.Б. Энглин, И.В. Брай // Нефтепереработка и нефтехимия. 1982. № 2. С. 16-18.
2. *Дорогочинская В.А.* Присадки к топливам и смазочным материалам / В.А. Дорогочинская, А.М. Данилов, Б.П. Тонконогов. М.: Издат. центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2017. 347 с.
3. *Лихтеров С.Д.* Исследования межкомпонентного взаимодействия при разработке трансмиссионных масел / С.Д. Лихтеров, Л.Я. Левин, И.В. Облащиков // Материалы технического совещания «Пути повышения экономичности и экологической безопасности применения масел в автомобильной технике». М., 1997. С. 29-31.

**ВЛИЯНИЕ ГЛИЦЕРИНА НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ
ЛИТИЕВЫХ СМАЗОК НА ОСНОВЕ
12-ОКСИСТЕАРИНОВОЙ КИСЛОТЫ И МЕТИЛОВОГО
ЭФИРА ТЕХНИЧЕСКОГО ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА**

Л.О. Огурцов, А.В. Симонов, А.В. Соколов, В.В. Соловьев

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

Ярославский государственный технический университет

Очень высокие скорости электродвигателей до 20 000 оборотов в минуту представляют собой еще один фактор снижения вязкости масла на основе 12-оксистеариновой кислоты и метилового эфира технического подсолнечного масла с добавлением глицерина и алифатического спирта. В частности, было обнаружено, что такие добавки улучшают трение и износ. Показано, что присутствие глицерина, особенно в концентрации более 0,5%, повышает низкотемпературные свойства смазки, снижает загущающее действие литиевых мыл 12-оксистеариновой кислоты и способствует получению более экологически безопасного компонента для электромобилей.

Ключевые слова: глицерин, структура литиевых смазок, 12-оксистеариновая кислота, метиловый эфир технического подсолнечного масла, экология

**INFLUENCE OF GLYCEROL ON THE PROPERTIES
AND STRUCTURE OF LITHIUM GREASES BASED
ON 12-OXYSTEARIC ACID AND METHYL ESTER
OF TECHNICAL SUNFLOWER OIL**

L.O. Ogurtsov, A.V. Simonov, A.V. Sokolov, V.V. Solovyov

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

Yaroslavl State Technical University

Very high motor speeds of up to 20,000 rpm represent another factor in reducing the viscosity of 12-oxystearic acid and methyl ester of technical sunflower oil with the addition of glycerin and aliphatic alcohol. In particular, such additives were found to improve friction and wear. It has been shown that the presence of glycerol, especially in concentrations greater than 0.5%, increases the low-temperature

properties of the lubricant, reduces the thickening effect of lithium soaps of 12-oxystearic acid and contributes to a more environmentally friendly component of an electric vehicle.

Keywords: *glycerin, structure of lithium greases, 12-oxystearic acid, methyl ester of technical sunflower oil, ecology*

В современных автомобилях с двигателями внутреннего сгорания смазочные материалы, изготовленные на основе минеральных масел и типичных пакетов присадок, не обладают высокой термической и окислительной стабильностью, необходимой для смазки трущихся деталей электромобилей, которые в последнее время быстро завоёвывают рынок традиционной автотехники [1]. Известно, что повышение окислительной стабильности можно достичь за счет использования масел на синтетической основе, состоящих из таких молекул, как полиальфаолефины, сложные эфиры, полиалкиленгликоли, эстолиды [2]. Последние как правило представляют эфиры оксигирных кислот (например, 12-оксистеариновой кислоты), получаемые на основе технических растительных масел или свободных жирных кислот, взаимодействующих с алифатическим спиртом. Например, при нагревании оксигирных кислот при температуре 100–150 °С до снижения кислотного числа с 170–180 до 45–50 мг КОН/г и ниже. При этом молекулы оксикислот могут вступать в соединение между собой, образуя полимерную цепочку, что обуславливает их высокие смазочные свойства [3].

На начальном этапе исследований было установлено, что включение синтетических масел, глицерина и соединений бора в трансмиссионные масла повышает их термическую и окислительную стабильность, что очень важно. Оказалось, что эти типы базовых масел и присадок очень перспективны для использования в электромобилях. Однако в процессе настоящих исследований выяснилось, что необходимо провести дополнительные исследования того, как они будут взаимодействовать с электрическими компонентами будущих электромобилей. Это связано с тем, что введение глицерина в смазочные материалы, может приводить к накоплению в них влаги, что отрицательным образом может сказаться на диэлектрических свойствах технологических жидкостей, используемых в электромобилях.

При производстве смазок приготовленных на мылах естественных жиров (эстолидов) в их состав, как правило, попадает глицерин, отщепляющийся при омылении глицеридов жирных кислот. Одновременно с этим в состав смазок для электромобилей дополнительно вводится глицерин и спирт (этиловый, изопропиловый, бутиловый). Их присутствие может существенно сказываться на свойствах различных смазок [4].

Предварительными исследованиями было установлено, что загущающая способность литиевых мыл, полученных на основе образца –

метилового эфира технического подсолнечного масла (МЭТПМ), оказалась ниже загущающей способности таких же мыл на основе 12-оксистеариновой кислоты (ОСК), применяемой в традиционных автомобилях с двигателями внутреннего сгорания. Это можно объяснить только тем, что в синтезированных смазках на основе метиловых эфиров присутствует глицерин, который позволяет регулировать загущающую способность технологической жидкости [5].

В этой связи, все дальнейшие исследования были направлены на изучение влияния концентрации глицерина на структуру и свойства базовых (традиционных) литиевых смазок на мылах 12-оксистеариновой кислоты, с перспективой постепенной замены нефтяных составляющих этих смазок на эстолидные компоненты – метиловые или этиловые эфиры технического подсолнечного масла.

Образцы смазок готовили, загущая Li-мылом ОСК смесь (1:1) масел машинного СУ (ГОСТ 1707-51) и веретенного АУ (ГОСТ 1642-75). Вязкость смеси при 0, 20 и 50 °С соответственно составляла 600, 430 и 24 сСт. Для получения литиевого мыла использовали техническую ОСК с йодным числом 5,5 гI₂/100 г, содержащую 85% основного компонента. Омыление ОСК осуществляли в масляной среде водным раствором LiOH. Во время омыления в смазку вводили глицерин (ГОСТ 6259-75 марки ХЧ) в заранее заданной концентрации. Мыльно-масляный расплав сначала нагревали до 200 °С, а затем равномерно охлаждали в эмалированном реакторе при непрерывном перемешивании до 20 °С. После охлаждения через сутки смазку гомогенизировали на валковой перетирочной машине МКМ и проводили анализ стандартными методами. Кроме того, у смазок определяли механическую стабильность и термоупрочнение [5].

Готовые смазки практически не содержали воды и имели нейтральную или слабощелочную реакцию. Свойства полученных образцов смазок приведены в табл. 1.

В ходе предварительных исследований было установлено, что присутствие в смазке 0,5% глицерина практически не сказывается на ее свойствах (здесь и далее указана массовая концентрация глицерина, считая на омыляемый компонент). Однако увеличение концентрации глицерина до 1% несколько уменьшает предел прочности и вязкость смазки, ухудшает ее коллоидную стабильность, а также снижает консистенцию. Дальнейшее повышение концентрации глицерина до 3% еще в большей степени снижает загущающее действие Li-мыла (см. табл. 1) делая смазку более подвижной. Особенно сильно изменяется коллоидная стабильность смазки, за счет того, что опрессовываемость масла увеличивается с 9 до 37%.

Таблица 1. Свойства смазок на основе оксистеарата лития с добавками глицерина

Концентрация глицерина, % мас. на загуститель	Предел прочности на сдвиг τ , г/см ² , при 80°C	Эффективная вязкость при 100 с ⁻¹ , П, при температуре, °C			Термическая стабильность (предел прочности при 20 °C, г/см ²)		Температура каплепадения, °C	Пенетрация при 25 °C
		0	20	50	исходной	после термообработки в течение 1 ч при 120 °C		
0	8,0	600	400	350	17,3	20,6	194	200
0,5	9,0	600	390	280	11,5	7,5	192	210
1,0	5,0	350	250	150	10,1	11,1	187	240
3,0	2,0	280	180	110	9,5	11,5	180	260
5,0	2,5	240	160	100	7,4	9,4	179	280
7,0	2,5	220	160	100	3,7	9,7	177	300
Базовый образец минеральной смазки без глицерина	5,2	350	210	150	11,8	12,0	190	240

Дальнейшее введение глицерина (свыше 3%) практически не изменяет свойств смазки. Его присутствие не сказывается на термоупрочнении исследованных смазок, а также на их вязкостно-температурных и вязкостно-скоростных характеристиках.

Полученные данные объясняют уменьшение загущающего действия глицерина при переходе от синтезированных Li-мыл ОСК к традиционным мылам на основе метилового эфира технического подсолнечного масла (базовый образец минеральной смазки без глицерина). Как видно из данных таблицы, свойства смазки, содержащей 11% литиевых мыл основе метилового эфира технического подсолнечного масла, в состав которой входит примерно 1% глицерина, выделившегося при получении метилового эфира, практически идентичны свойствам образца на основе ОСК с 1% глицерина.

Таким образом, присутствие глицерина, особенно в концентрации более 0,5%, существенным образом влияет на свойства смазок, полученных на Li-мылах ОСК, введение метилового эфира технического подсолнечного масла повышает низкотемпературные свойства смазки, снижает загущающее действие литиевых мыл ОСК и способствует получению более экологически безопасного компонента электромобиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тойлыбаев А.Е.* Электромобиль - транспорт будущего / А.Е. Тойлыбаев, С. Сеймхан // *Universum: Технические науки: электрон. науч. журн.* 2018. № 5(50). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/5902>
2. *Митусова Т.Н.* Современное состояние производства присадок к дизельным топливам. Требования к качеству // *Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний.* 2009. № 9-10. С. 10–16.
3. Получение высших жирных кислот и технического глицерина из отходов производства биодизельного топлива / Г.В. Джабаров, А.И. Биккулова, М.С. Воронов, Е.М. Макарова, С.И. Густякова, И.М. Язмухамедова, А.А. Колбаскина, А.В. Балаева, И.Р. Амирханов // *Успехи в химии и химической технологии.* 2017. № 12. С. 42-43.
4. *Ito T.* Hydrogen and ethanol production from glycerol containing wastes discharged after biodiesel manufacturing process / T. Ito, Y. Nakashimada, K. Senba, T. Matsui, N. Nishio // *Journal of Bioscience and Bioengineering.* 2005. № 100 (3). P. 260–265.
5. *Анисимов И.Г.* Топлива, смазочные материалы, технические жидкости / И.Г. Анисимов, К.М. Бадыштова, С.А. Бнатов. М.: Изд. центр «Техинформ», 1999. 596 с.

ВЛИЯНИЕ ВОДЫ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОНЕНТОВ СМАЗОЧНОЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

А.В. Симонов, В.А. Фомин, А.В. Соколов, В.В. Соловьев

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

Ярославский государственный технический университет

Продажи электромобилей за последнее десятилетие стремительно возросли, поскольку природоохранные органы во всем мире уделяют все больше внимания топливной эффективности и сокращению выбросов для сдерживания изменения климата и качества воздуха в городах. Параллельно это привело к разработке нескольких специальных моторных масел и пластичных смазок для электрифицированных трансмиссий. Как и их аналоги для двигателей внутреннего сгорания, эти смазочные материалы должны минимизировать трение, повышать долговечность и эффективность работы двигателя. При этом они также должны соответствовать сложным электрическим составляющим этих новых транспортных средств, сохраняя при этом свойства термического охлаждения и защиты от коррозии, а также заполняться на весь срок службы, без возможности «дозаправки». Кроме того, они должны быть адаптированы к высокоскоростным редукторам и электродвигателям. Наличие этих характеристик имеет решающее значение для электромобилей, которые делают большой шаг на пути к экологичному будущему.

Ключевые слова: смазочные жидкости, электромобили, моноэтиловый эфир диэтиленгликоля, глицерин, полипропиленгликоль, диолы

INFLUENCE OF WATER ON THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF LUBRICANT COMPONENTS FOR ELECTRIC VEHICLES

A.V. Simonov, V.A. Fomin, A.V. Sokolov, V.V. Solovyov

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

Yaroslavl State Technical University

Sales of electric vehicles have skyrocketed over the past decade as environmental authorities around the world place increasing emphasis on fuel efficiency and emis-

sion reduction to curb climate change and urban air quality. In parallel, this has led to the development of several special motor oils and greases for electrified transmissions. Like their internal combustion engine counterparts, these lubricants are designed to minimize friction, improve engine durability and improve engine efficiency. However, they must also match the complex electrical components of these new vehicles, while maintaining thermal cooling and corrosion protection properties, and be filled for life, without the possibility of "topping up". In addition, they must be adapted to high-speed gearboxes and electric motors. Having these characteristics is critical for electric vehicles, which are taking a big step towards a sustainable future.

Keywords: *lubricating fluids, electric vehicles, diethylene glycol monoethyl ether, glycerin, polypropylene glycol, diols*

Одним из основных недостатков большинства применяемых в настоящее время как зарубежных, так и отечественных смазочных жидкостей (СЖ) для электромобилей, является их гигроскопичность. Целью работы было исследование влияния воды на такие показатели смазочной жидкости и ее компонентов, как температура (кипения) условно - испарения, вязкость и удельная электропроводность. Учитывая, что СЖ является сложной композицией, особый интерес представляло изучение влияния степени обводненности на изменение этих показателей для базового образца СЖ и ее основных компонентов.

В качестве объекта исследования была взята отечественный образец смазочной жидкости, предложенный авторами настоящей работы, состав, которого был ранее опубликован в сборнике научных трудов [1-3]. Основными компонентами смазочных жидкостей, исследуемых в данной работе, был несколько изменен. Асновными компонентами являлись: моноэтиловый эфир диэтиленгликоля, глицерин, полипропиленгликоль и диолысо средней молярной массой 400 и 3000 кг/моль, в которые, так же как и в СЖ, добавлялась вода в концентрациях от 0,5 до 3,0% мас., и по стандартному методу РС-2621-70 определялась их температура кипения. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Анализ этих результатов показал, что с увеличением содержания воды до 3% мас., температура кипения как самой базовой СЖ, так и ее компонентов уменьшается, причем наиболее резко она снижается у диолов 400 и 3000. При этом температура кипения базовой СЖ снижается с 202,5 до 146,7 °С, т. е. только на 55,8 °С, что определяется изменением температуры кипения моноэтилового эфирадиэтиленгликоля – основного компонента, содержание которого в смазочной жидкости достигает 60 % мас.

Одной из важнейших характеристик смазочных жидкостей для электромобилей является вязкость. Так, для базовой СЖ согласно ТУ 6-09-550-73 кинематическая вязкость при 50 °С должна быть не менее 5,0 сСт, а при –40 °С – не более 1500 сСт. Вязкость базовой СЖ с различным содержанием воды определялась в вискозиметре Пинкевича по ГОСТ 33-66 в интервале температур от -50 до +50 °С. В табл. 2 приведе-

ны результаты исследования влияния содержания воды на вязкость смазочной жидкости.

Таблица 1. Влияние воды на температуру кипения СЖ и ее основных компонентов

Содержание воды, % мас.	Температура кипения (испарения) при 760 мм рт. ст., °С				
	Базовая смазочная жидкость (СЖ)	Моноэтиловый эфир диэтиленгликоля	Диол со средней молярной массой 400 кг/моль	Полипропиленгликоль	Диол со средней молярной массой 3000 кг/моль
0	202,5	201,3	319,6	206,6	312,2
0,5	184,9	190,2	260,5	172,3	206,0
1,0	173,1	178,2	185,2	154,0	183,8
1,5	164,1	165,1	167,8	149,9	169,2
2,0	156,6	160,6	153,1	143,3	163,0
2,5	150,8	153,5	151,2	134,3	159,0
3,0	146,7	149,1	140,1	131,8	151,9

Таблица 2. Влияние воды на вязкость базовой смазочной жидкости

Содержание воды, % мас.	Кинематическая вязкость, сСт, при температуре. °С								
	50	20	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
0	4,9	19,4	26,6	43,5	81,2	169,2	419,6	1289	5990
0,5	14,1	19,8	27,6	44,5	83,1	139,5	427,6	1321	5937
1,5	19,7	20,1	28,3	45,0	82,1	168,3	431,0	1330	6043
2,0	—	20,5	29,4	56,5	105,9	138,1	883,1	2779	6139
3,0	—	22,4	30,4	58,4	113,8	264,2	—	—	—

С возрастанием концентрации воды вязкость СЖ увеличивается. При температуре -40°C и содержании воды более 1,5% мас., она превышает 1500 сСт, т. е. максимально допустимую. Наиболее сильно меняется вязкость при изменении температуры для диолов со средней молярной массой 400 и 3000 кг/моль.

Весьма важным является правильность оценки гигроскопичности тормозных жидкостей. Содержание воды в СЖ принято определять по методу Фишера. В данной работе была сделана попытка найти более быстрый, удобный и достаточно чувствительный метод для определения концентрации воды в смазывающих жидкостях. С этой целью исследовалось влияние концентрации воды на такие физико-химические свойства СЖ, как удельная теплопроводность и коэффициент рефракции. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3. Влияние воды на удельную электропроводность и коэффициент рефракции базовой СЖ

Показатели	Содержание воды в базовой СЖ, % мас.					
	0	1	2	3	4	5
Удельная электропроводность при 25 °С, Ом ⁻¹ ·см ⁻¹ ·10 ⁶	4,58	5,24	6,07	7,21	8,34	9,63
Коэффициент рефракции при 20 °С n_D^{20}	1,4386	1,4378	1,4373	1,4368	1,4366	1,4361

Электропроводность и показатель преломления (см. табл. 3) меняется линейно с изменением концентрации воды в смазочной жидкости. В наибольшей степени при увеличении концентрации воды увеличивается удельная электропроводность (от 4,58 Ом⁻¹·см⁻¹·10⁶ у базовой СЖ, выдержанной одни сутки в эксикаторе над хлористым кальцием, до 9,63 Ом⁻¹·см⁻¹·10⁶ у жидкости, содержащей 5% мас. воды). Величина удельной электропроводности может быть рекомендована как достаточно чувствительный показатель для определения содержания воды в свежей тормозной жидкости.

Таким образом, компонентом, определяющим понижение температуры кипения СЖ при увеличении содержания в ней воды, является моноэтиловый эфир диэтиленгликоля. Для определения количества воды в неотработанной СЖ целесообразно использовать удельную электропроводность как достаточно чувствительный и легко измеряемый параметр. При температуре –40 °С и содержании воды более 2% мас., вязкость базовой СЖ превышает предельно допустимое значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ермаков М.С.* 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: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. 26 мая 2022 г., Ярославль. [Электронный ресурс]. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. С. 74-77. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. *Огурцов Л.О.* Исследование влияния полярных ингредиентов, присутствующих в различных присадках и маслах на процесс адсорбции противознозные свойства технологического оборудования / М.С. Ермаков, Л.О. Огурцов, А.В. Соколов, В.В. Соловьев // Компьютерно-интегрированные технологии в машиностроении: проблемы и перспективы: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конференции. 26 мая 2022 г., Ярославль. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. С. 78-82. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
3. *Огурцов Л.О.* Изучение процесса адсорбции присадок и масел различного химического состава на противознозные свойства технологического оборудования методом контактной разности потенциалов / Л. О. Огурцов, М.А. Червочкин, А.В. Соколов, В.В. Соловьев // Компьютерно-интегрированные технологии в машиностроении: проблемы и перспективы: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. 26 мая 2022 г., Ярославль. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. С. 83-86. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ

В.А. Фомин, Л.О. Огурцов, А.В. Маркелов, В.В. Соловьев

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

Ярославский государственный технический университет

С экономией топливно-энергетических ресурсов и ростом требований к охране окружающей среды важное значение приобретает регенерация и последующее использование минеральных и синтетических отработанных моторных масел. В статье представлены конструкторские разработки новых эффективных процессов переработки отработанных масел, которые дают возможность не только получать продукты высокого качества, не уступающие свежим маслам, но также избежать загрязнения окружающей среды отходами автотранспорта, машиностроения и металлообработки.

***Ключевые слова:** отработанные моторные масла, регенерация, проектирование, конструкторские разработки*

MODERN TECHNOLOGY OF RECYCLING WASTE MINERAL AND SYNTHETIC OILS

V.A. Fomin, L.O. Ogurtsov, A.V. Markelov, V.V. Solovyov

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

Yaroslavl State Technical University

With the economy of fuel and energy resources and increasing requirements for environmental protection, regeneration and subsequent use of mineral and synthetic waste motor oils becomes important. The article presents design developments of new effective processes of used oil processing which give an opportunity not only to obtain high quality products, not inferior to fresh oils, but also to avoid environmental pollution by wastes of motor transport, machine-building and metal-working industry.

***Keywords:** waste motor oils, regeneration, engineering, design development*

Вопросу рационального использования отработанных масел большое внимание уделяется практически во всех (зарубежных) промышлен-

но развитых странах. В США, Франции, ФРГ, Великобритании и ряде других стран проводятся правительственные мероприятия, направленные на стимулирование работ по сбору и переработке отработанных масел [1]. В Российской Федерации эти работы интенсифицировались в последнее время, из-за постепенного перехода экономики и промышленности страны на водородную и биоэнергетику [2], быстрой переориентации отечественного автопрома на сборку импортных и выпуск собственных водоробусов и электромобилей [3], а также проведения специальной военной операции на Донбасе.

В течение многих лет сернокислотный метод очистки оставался основным для регенерации отработанных масел [4]. Однако образование значительного количества трудноутилизируемого кислого гудрона, а также сложности при переработке этим методом масел с высоким содержанием присадок и синтетических масел после длительной их работы двигателях внутреннего сгорания привели к необходимости создания более совершенных процессов. В последние годы в рамках научно-технических исследований, проводимых в Ярославском государственном техническом университете (ЯГТУ), и опробывания инновационных процессов регенерации отработанных минеральных и синтетических моторных, а также машинных масел, в рамках работы камеральных установок, были разработаны новые эффективные методы регенерации отработанных масел с использованием селективных растворителей, различных химических реагентов, мембран, а в перспективе и процесса гидроочистки с депарафинизацией, с предварительной вакуумной перегонкой.

На начальном этапе исследования учеными ЯГТУ под руководством преподавателей кафедры автомобильного транспорта (АТ) и сотрудниками кафедры «Химическая технология органических веществ» (ХТОВ) в рамках профиля «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов» были предложены и разработаны схемы регенерации отработанных масел, основанные на использовании пропановой очистки, по аналогии с традиционно используемой на ПАО «Славнефть-ЯНОС» технологии асфальтизации минеральных масел на установке комплекса масел КМ-2. При опытно-конструкторском проектировании этого процесса оказалось, что включение предварительной очистки пропаном отработанного масла в схему кислотно-контактного метода позволяет существенно снизить расход минеральной кислоты и отбеливающего компонента природного алюмосиликата – белой глины. Наряду с сокращением объема кислого гудрона и отработанной белой глины при реализации данного проекта должно было наблюдаться увеличение выхода регенерированного масла и улучшение его качества. При проектировании опытной установки было показано, что преимущества использования пропановой очистки в схеме регенерации отработанных

минеральных масел должны были привести к увеличению выхода очищенных масел по сравнению с базовым проектом при практически полном отказе от стадии кислотной очистки. В этом случае в схеме регенерации должны быть предусмотрены следующие технологические этапы: предварительная очистка от воды и топливных фракций; очистка пропаном; вакуумная разгонка на индивидуальные масляные фракции; контактная очистка остатка перегонки; гидроочистка и гидродеафинизация масляных фракций.

Дальнейшие бескислотные процессы регенерации отработанных масел были предложены с учетом реализации технологической цепочки, которая должна включать: удаление воды и легких углеводородов в обязательном порядке присутствующих в отработанных маслах; селективная экстракция с применением последнего вида наиболее эффективного экстрагента, который сегодня пытаются внедрить большинство маслоработчиков Российской Федерации; вакуумное фракционирование; селективная экстракция остатка вакуумной перегонки; гидроочистка масляных дистиллятов. По понятной причине на начальных этапах проектирования в качестве растворителя селективной очистки первоначально было предложено использовать традиционный пропан. Однако при расчетной проверке данного метода оказалось, что он не способен обеспечить даже требования самого лояльного ГОСТа на получаемую продукцию. К сожалению, требования отечественных и зарубежных стандартов по ряду показателей не выдерживались. Поэтому, чтобы получить качественные базовые образцы моторных и машиностроительных минеральных нефтяных масел данный проект потребовал второй ступени процесса экстракции. Наличие второй ступени экстракции пропаном, а также предложенная рециркуляция остатка на первую ступень явились технологическими новшествами предложенного метода. Проведенные расчеты показали, что первую ступень экстракции необходимо проводить с ограниченной селективностью при высокой степени извлечения и низком отношении растворитель – сырье. На второй ступени экстракции качество продукта должно улучшаться за счет увеличения селективности процесса. В целом на стадии экстракции отношение растворитель – сырье выбиралась несколько меньшим, чем в традиционных аналогичных процессах, применяемых в маслоработке. Проведенные предварительные технологические расчеты, свидетельствовали о том, что качество и выход продукта в этом случае должен увеличиться. К основным преимуществам процесса относятся высокая производительность установки, высокое качество и выход продукта, низкие потери растворителя, отсутствие загрязнения окружающей среды.

К сожалению, в небольшой статье невозможно отразить все технологические процессы, связанные с разработкой проектно-конструкторских

решений в данной области. Однако приведенные в статье 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 автотранспорта, машиностроения и металлообработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маколова Л.В.* Зарубежный опыт использования механизмов повторного использования отработанных масел и минимизации экологического вреда // Актуальные вопросы экономических наук. 2012. № 1. С.56-60.
2. *Коблова Ю.А.* Энергетический переход как угроза экономической безопасности России // Промышленность: экономика, управление, технологии. 2022. Т. 1. С. 36-41.
3. *Электромобили (рынок России)*. М., 2023. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php>
4. *Материалы докладов на Междунар. науч.-практ. конф. «Новые технологии в переработке и утилизации отработанных масел и смазочных материалов»*. М., 2003. URL: <http://eco.inno.ru/projects>

РАЗВИТИЕ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТА

А.М. Ясько¹, И.А. Василенко¹, И.А. Трефилов¹, С.Г. Кондаков²

Научный руководитель – **С. Г. Кондаков**, ст. преподаватель

¹Ярославское высшее военное училище ПВО

²Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются принципы работы, перспективы и особенности беспилотного управления автомобилем.

Ключевые слова: *водитель, технологии, безопасность*

DEVELOPMENT OF UNMANNED VEHICLES

A.M. Yasko¹, I.A. Vasilenko¹, I.A. Trefilov¹, S.G. Kondakov²

Scientific Supervisor - **S.G. Kondakov**, Senior Lecturer

¹Yaroslavl Air Defense Higher Military School

²Yaroslavl State Technical University

The principles of operation, prospects and features of unmanned vehicle control are considered.

Keywords: *driver, technology, safety*

В настоящее время всё большее влияние на нашу жизнь играют новые технологии. В частности, для упрощения управлением транспортных средств, а также для обеспечения безопасности дорожного движения начали внедрять беспилотные технологии. От ДТП страдает множество людей: приходится тратить деньги на починку автомобиля, поправлять здоровье, а в самых тяжелых ситуациях дело заканчивается смертью. Беспилотные автомобили сводят вероятность их возникновения к минимуму.

История

Над созданием беспилотных машин начали трудиться еще с 1980-х годов. Первые серьезные испытания были проведены военными специалистами в Германии, они опробовали микроавтобус, который был оснащен основанной на видеодатчиках роботизированной системой управления. Ему удалось набрать скорость 100 км/ч, но все происходило на пустых

улицах, отдаленных от реальных условий. И на самом деле это был не совсем беспилотный автомобиль, так как им удаленно управлял человек.

Следующими разработками серьезно начала заниматься компания Google. Она получила лицензию на испытание беспилотных автомобилей, но с условием присутствия человека, в случае опасной ситуации готового взять контроль над машиной в свои руки. Компания разработала способность автомобилей прокладывать путь самостоятельно, ориентироваться на местности и реагировать на другие средства передвижения и людей. В 2012 году стало известно, что беспилотники Google прошли более 480 тыс. км без ДТП.

Достоинства:

Сокращение количества аварий. Одна из важнейших проблем на дорогах, которая будет сведена к минимуму с использованием беспилотного автотранспорта - ДТП. Беспилотные машины не попадут в аварию из-за человеческого фактора, они способны заранее рассчитать как свою траекторию движения, так и траекторию движения автотранспорта находящегося рядом. Также известны случаи, когда автопилот смог вырвать машину из-под летящего на неё колеса.

Меньше пробок. Оптимальные маршруты у беспилотного транспорта и взаимодействие нескольких беспилотных автомобилей позволяют сократить количество пробок на дороге.

Нет проблем с парковкой. Беспилотники смогут быстро, точно, а главное безопасно припарковать автомобиль в сложных ситуациях.

Снижение затрат на транспортировку. Благодаря экономии топлива транспортировка грузов и пассажиров будет дешевле. Также данные технологии позволят сократить сроки доставки благодаря подбору оптимального маршрута. Также немало важным стоит отметить, что беспилотнику не нужно время на отдых.

Развитие дизайна. Внешний вид автотранспорта преобразится, начиная от салона, где при отсутствии руля станет больше пространства, заканчивая дизайном автомобиля.

Недостатки:

Цена. Основным недостатком является цена таких автомобилей. Это связано со сложностью организации безопасного дорожного движения и взаимодействия автотранспорта со спутниковыми системами.

Человеческий фактор. Для беспилотного автотранспорта может возникнуть иная проблема, связанная с человеческим фактором. Программное обеспечение, которое создается для таких автомобилей, пишется программистами. Как и любое другое ПО, оно может быть взломано. В таком случае с машиной может произойти всё что угодно, самое безобидное из этого – невозможность тронуться с места, но обычная шалость может превратиться в серьёзную проблему. На пример этот авто-

транспорт смогут угнать дистанционно или благодаря ему совершить противозаконные деяния, зачастую таких преступников невозможно отследить.

Лишение работы. Многие люди зарабатывают на автотранспорте, основном это таксисты и дальнобойщики. С приходом беспилотных автомобилей на рынок необходимость в таких людях попросту пропадёт.

Нет законодательной базы. На настоящий момент в большинстве стран запрещено широкое использование беспилотного автотранспорта, потому что не разработаны законы, позволяющие с юридической точки зрения определить виновного в ДТП с участием беспилотных автомобилей.

Технология может начинать применяться в сервисах и в городах, но пока для этого ещё не создана законодательная база. По мере развития технологии растёт и сложность сред, в которых беспилотные автомобили готовы ездить в полностью автономном режиме без инженера в салоне. Таким образом, внедрение беспилотного транспорта будет выглядеть как постепенный итерационный процесс

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Как устроены беспилотные автомобили – всё, что нужно знать о главной технологии будущего // Эльдоблок: [сайт]. URL: <https://blog.eldorado.ru/publications/kak-ustroeny-bespilotnye-avtomobili-vse-chto-nuzhno-znat-o-glavnoy-tehnologii-budushchego-24354>
2. Как развиваются беспилотные автомобили в России // VC.RU: [сайт]. URL: <https://vc.ru/transport/373565-kak-razvivayutsya-bespilotnye-avtomobili-v-rossii>
3. https://studbooks.net/2194703/tehnika/analiz_vliyaniya_psihofiziologicheskikh_harakteristik_voditelya_avariynost
4. Беспилотные автомобили. URL: <https://uav-bpla.com/unmanned-vehicles-avto/>
5. Беспилотный автомобиль // Википедия: [сайт]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспилотный_автомобиль

РАЗВИТИЕ СОВЕТСКОГО АВТОТРАНСПОРТА В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

С.М. Шорохов, А.М. Канаев

Научный руководитель – **А.М. Канаев**, преподаватель

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны

В статье проводится анализ исторических аспектов развития военного автотранспорта в годы ВОВ. Даны характеристики военному автотранспорту, который производился в данный период. Актуальность обоснована мерами государственной поддержки краеведческой работы, общественных исторических выставок и экспозиций, проектов по исторической реконструкции, что было отражено в Послании Президента Федеральному Собранию 21 февраля 2023 года.

Ключевые слова: военный автотранспорт, Великая отечественная война, производство, развитие транспорта

HISTORY OF MILITARY VEHICLES DURING THE WARS

S.M. Shorokhov, A.M.Kanaev

Scientific Supervisor – **A.M. Kanaev**, Lecturer

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The article analyzes the historical aspects of the development of military vehicles during the Second World War. The characteristics of military vehicles that were produced during this period are given. The urgency is grounded by the measures of state support of local history work, public historical exhibitions and expositions, projects of historical reconstruction which was reflected in the President's message to the Federal Assembly on February 21, 2023.

Keywords: military motor transport, the Great Patriotic War, production, transport development

Развитие военного автотранспорта в нашей стране стало приоритетной задачей не только в наши дни, она была актуальна и на начальном этапе, когда в 30-е годы прошлого столетия, РККА только начинала своё становление.

Первые грузовики массового конвейерного производства для народного хозяйства начали выпускать в 1931–1933 в Москве. После реконструкции предприятие АМО было переименовано в ЗИС. Оно выпускало грузовики по лицензии американской фирмы Autocar, а в Нижнем Новгороде (позже Горький) в 1930–1932 было построено предприятие НАЗ (Нижегородский автомобильный завод), выпускавшее легковые и грузовые автомобили по лицензии фирмы FordMotor.

Уже в январе 1932 года НАЗ дал первую продукцию – грузовики НАЗ-АА. В декабре 1932 года наряду с полуторкой завод начал выпускать легковую машину НАЗ-А («Форд-А»), которая стала первым советским легковым автомобилем массового производства.

После переименования города в Горький изменилось и название завода и обозначения выпускаемых им автомашин – грузовик стал называться ГАЗ-АА, а легковой автомобиль – ГАЗ-А. Следует сказать, что легковая машина имела значительную степень унификации с грузовиком (двигатель и ряд других узлов и агрегатов), что позволило сравнительно быстро освоить массовый выпуск легковушки (до марта 1936 года изготовлено около 48 тыс. экземпляров).

Горьковские грузовики нашли широкое применение в Красной армии как в стандартном (бортовом) варианте, так и в качестве специальных машин. Так, на шасси ГАЗ-АА в предвоенные годы выпускались авиационные стартеры АС-Г и АС-2, автомобильные электростанции АЭС-3, санитарные автомобили («образца 1934 года» на базе ГАЗ-АА и ГАЗ-55 на базе ГАЗ-ММ), бензоперекачивающие станции БПС-4-АД-90, ремонтные летучки типа А (выпускались на шасси ГАЗ-АА и ГАЗ-ААА), а также зенитные пулеметные установки «4М» (в кузове размещалась счетверенная установка 7,62-мм пулеметов «Максим») и ЗСУ с 25-мм зенитными пушками 72-К (в связи с отсутствием орудийных повозок монтировались в кузовах автомобилей ГАЗ-АА). С учетом этих вариантов автомашин в РККА находилось более 150-ти тысяч автомобилей семейства ГАЗ-АА и ГАЗ-ААА.

К началу Великой Отечественной войны советская армия была оснащена ограниченным количеством автомобилей, которое за годы войны увеличилось в 2,5 раза (достигнув 100 000 автомобилей только для автомобильных войск к 1945 году). За годы войны Народный комиссариат национальной обороны получил в общей сложности 463 000 отечественных и импортных автомобилей. Около 445 000 автомобилей было поставлено для оснащения войск.

Важно отметить, что выпуск отечественного автомобильного транспорта был увеличен в связи с имеющимися потребностями на фронте и в тылу. Это более наглядно отражено в табл. 1.

Таблица 1. Количество выпускаемого автомобильного транспорта в годы ВОВ

Год	Автобусы	Грузовые машины	Легковые машины	Всего
1941	4 027	116 169	3 980	124 176
1942	1 462	30 947	2 567	34 976
1943	1 175	45 545	2 546	49 266
1944	1 700	53 467	5 382	60 549
1945	1 114	68 548	4 995	74 657

Анализируя представленную таблицу, прослеживается положительная динамика по годам. Несмотря на острую необходимость в выпуске военного оборудования и военной техники, заводы по выпуску легковых машин и автобусов, продолжали функционировать. По сравнению 1941 годом производство в 1945 сократилось практически в 4 раза (позиция «автобусы»), практические в 2 раза – позиции «грузовые и легковые машины». Из грузовых машин выпускали в основном: ГАЗ-ММ и ЗИС-5, где большое внимание уделялось повышению подвижности и маневренности. Войска стали оснащаться новыми отечественными автомобилями и гусеничными тягачами, бронетранспортерами.

Основу автопарка Красной Армии накануне Великой Отечественной войны составляли грузовые автомобили ГАЗ-АА и ГАЗ-ААА грузоподъемностью, в 1,5 и 2 т соответственно, ЗИС-5 и ЗИС-6 грузоподъемностью в 3 и 4 т. Все эти грузовики были коммерческого типа и использовались в армии в том же виде, что и в народном хозяйстве, без каких-либо конструктивных изменений, в отличие от немецкого Вермахта.

Но не только заводы в Москве и Горьком старались для фронта. Более тяжелые грузовые автомашины в СССР выпускались Ярославским автомобильным заводом, который в начале 30-х годов также прошел реконструкцию. Первоначально завод выпускал 5-тонные Я-5 (с американскими двигателями «Геркулес» мощностью 93 л.с.), а с 1934 года перешел на выпуск модели ЯГ-4, которая оснащалась отечественным мотором от ЗИС-5. В 1936 году появился усовершенствованный вариант – ЯГ-6, который незначительно отличался от ЯГ-4. ЯГ-6 находился в серийном производстве вплоть до начала 1942 года, когда в связи с эвакуацией ЗИСа поставки двигателей на Ярославский завод были прекращены.

Несмотря на то что имеющаяся техника уступала технике противника, их отличительными чертами были простота конструкции, средней мощности двигатель из всех представленных моделей военного периода, наличие прочной рамы, высокая проходимость как на грунтовой дороге, так и в снегу, песке. Выпуск ГАМ-ММ ЗИС-5 продолжался ещё некоторое время после войны, но большим спросом они не пользовались. По-

следние были представлены полугусеничными внедорожниками ГАЗ-60 (Б) и ЗИС-22 (ВЗ), созданными на базе тех же ГАЗ и ЗИС.

Несомненно, производимый в годы ВОВ транспорт, имел слабые скоростные и мощностные характеристики, очень плохой уровень комфорта и недостаточно экономичен. Но низкая стоимость, простота конструкции и высокий уровень унификации, позволял производить автомобили в достаточном количестве и выполнять их ремонт в полевых условиях. В отличие от поставляемых США по Ленд-лизу автомобилей «Studebaker US6», на которые просто невозможно было достать запчастей. Некоторые элементы конструкции наших автомобилей могли изготавливаться буквально из подручных материалов. При этом отечественные автомобили в военный период справлялись со своими задачами на фронте не плохо.

В заключение хотелось бы сказать, что развитие и модернизация российского автомобильного транспорта с учётом использования их в вооружённых конфликтах остаются актуальными для Российской Федерации уже продолжительное количество времени. Сверхмощная держава с огромным количеством ресурсов должна не только демонстрировать успехи в образовании, науке, технике, но и показывать военную мощь. Производимый в России военный автотранспорт может активно использоваться и в гражданских целях, что делает его универсальным и доступным для широкого пользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская Федерация. Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Российской Федерации // Российская газета. 2023. 21 фев.
2. *Гринченко И.В.* Колесные автомобили высокой проходимости / И.В. Гринченко, Р.А. Розов, В.В. Лазарев, С.Г. Вольский. М.: Машиностроение, 1967. 240 с.
3. Официальный сайт электронной библиотеки Арсенал-Инфо.рф. URL: <https://arsenal-info.ru/b/book/2899044235/2> (Дата обращения: 15.02.2023).

УДК 621.891

ТРЕНИЕ В МАШИНЕ

А.В. Тихомиров, М.С. Балунов

Научный руководитель – **М.С. Балунов**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются общие вопросы трения и изнашивания машин и механизмов, и необходимость изучения процессов трения.

***Ключевые слова:** износ, теплота, механизм, трение*

FRICTION IN THE MACHINE

A.V. Tikhomirov, M.S. Balunov

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

General issues of friction and wear of machines and mechanisms, and the need to study friction processes are considered.

***Keywords:** wear, heat, mechanism, friction*

Основная работа всех машин и механизмов, заключается в относительном перемещении сопряженных поверхностей, которые сопровождаются трением и износом, из-за чего происходит выход из строя узлов и механизмов. Проблема износа и трения является одной из наиболее общих и важных, определяющих, в значительной мере, развитие и прогресс в области машиностроения и эксплуатации техники.

Трение является важнейшим видом вредного сопротивления; в то же время на действие сил трения основан ряд важнейших технологических процессов и работы механизмов: процессы прокатки, дробления, торможения автомобиля, сцепления шины с дорогой, трение в механизме сцепления, работа фрикционных, ременные передачи и т.д. Являясь неизбежным спутником всякого движения, а следовательно, и работы машины, трение иногда достигает весьма большой величины; например, при прокатке около 50% все энергии двигателя затрачивается на преодоление трения.

Износ деталей оказывает решающее влияние на долговечность и эксплуатационную надежность узлов трения. Увеличение зазора в сопряжениях вследствие износа часто сопровождается снижением коэффициента полезного действия, возникновением ударных нагрузок, увеличением потерь на трение и интенсивности износа сопряженных деталей.

Работа, развиваемая силами трения, отчасти превращается в тепло, отчасти затрачивается на истирание твердых трущихся поверхностей; при этом появляются колебания, звук (скрип тормозов, свист шин при резком торможении и т.д.).

Повышение температуры частей машины всегда нежелательно и даже опасно, так как перегрев может привести к самовозгоранию смазки, заеданию и поломкам частей машины: с повышением температуры металлы теряют в большей или меньшей степени свою прочность.

Большой интерес представляет новая энергетическая теория А.Д. Дубина; он отмечает, что нельзя правильно оценить и раскрыть природу трения и износа на основе одних только общих законов классической механики и считает, что трение есть процесс возбуждения атомов и атомной решетки поверхностного слоя в результате передачи энергии от одного тела к другому.

Трение и износ - весьма сложное явление физического, механического и химического характера, в настоящее время еще недостаточно изучено.

В машинах следует различать два основных вида трения скольжения: трение сухое и трение жидкостное; промежуточные виды трения скольжения: полусухое, являющееся разновидностью первого, и полужидкостное - разновидностью второго.

При сухом трении неизбежно нагревание трущихся тел и их изнашивание, состоящее отчасти в срыве бугорков, отчасти в деформациях и других более сложных явлениях молекулярного характера; повышение температуры при трении может довести вкладыши коленчатого вала из твердого состояния в расплавленное.

Жидкостное трение имеет совсем другой характер: при нем твердые трущиеся поверхности тел полностью отделены одна от другой сплошным слоем смазки (жидкости или газа) такой толщины, что даже самые высокие бугорки этих поверхностей не соприкасаются или почти не соприкасаются. Поэтому силами трения в этом случае являются главным образом силы сопротивления сдвига внутри самой жидкости, обладающей определенной вязкостью, а износ твердых поверхностей теоретически полностью исключен, таким образом, назначение смазки состоит в разъединении твердых трущихся поверхностей, в устранении непосредственного контакта между ними, неизбежно ведущего при относительном движении их к изнашиванию.

Полусухое трение получается при наличии тонкого смазочного слоя, когда значительная часть бугорков твердых трущихся поверхностей еще соприкасаются, деформируются и срезается; поэтому для этого трения можно считать достаточно правильными законы Кулона.

Полужидкостное трение получается при недостаточной толщине слоя смазки, когда соприкасаются лишь немногие, наиболее выступающие бугорки твердых поверхностей; в этом случае можно пользоваться с достаточным приближением законами жидкостного трения. Однако провести резкую границу между полусухим и полужидкостным трением нельзя, так как оба происходят при неполной смазке: в первом случае - при преобладании контакта твердых поверхностей, во втором - при преобладании слоя смазки, прерываемого лишь отдельными точками особенно выступающих бугорками. Обычно полусухое трение получается при малых скоростях, в особенности при пуске машины в начале ее движения, а полужидкостное - при неправильной или недостаточной смазке, в качающихся цапфах, а также при неправильной эксплуатации, например при перегрузке цапфы, и т.д. В технике оба основных вида трения (сухое и жидкостное) встречаются весьма часто; сухое трение - во фрикционных и ременных передачах, в тормозах, при прокатке и дроблении, при движении шины по дороге и т.д.; жидкостное трение - в хорошо смазываемых цапфах, пятах, ползунах и т.д.

В большинстве современных машин имеет место трение полужидкостное или полусухое, поэтому ближайшей задачей является переход на жидкостное трение, без износа трущихся поверхностей.

Износ частей машин - явление чрезвычайно вредное. Износ можно определить как нежелательный результат процесса изнашивания при наличии трения. В основном износ заключается в поверхностном разрушении трущихся твердых тел под влиянием касательных сил трения, что сопровождается перенапряжением поверхностных слоев трущихся тел выше предела текучести или предела прочности, скалывание мельчайших частиц, пластическими деформациями и другими явлениями физического и химического характера

Величина износа характеризуется толщиной стертого слоя металла.

Различают следующие виды естественного износа:

- коррозионный (под коррозией понимается физико-химический процесс разрушения металла - под воздействием окружающей среды);
- осповидный (выкрашивание), преимущественно при качении;
- окислительный;
- тепловой;
- абразивный.

Работа любой машины неизбежно сопровождается трением при относительном движении ее частей, поэтому полностью устранить износ

невозможно; величина же износа при непосредственном контакте поверхностей прямо пропорциональна работе сил трения. Абразивный износ частично вызывается действием пыли и грязи, поэтому очень важно содержать машину в чистоте, особенно ее трущиеся части, важно также, чтобы работа машины была спокойной (безударной).

Таким образом, под изнашиванием следует понимать неизбежный и вредный процесс изменения формы и размеров частей машин и сооружений под действием главным образом сил трения и других тесно связанных с ним факторов.

Следовательно, проведенный анализ и сравнение показали, что изучение трения в автомобиле является актуальной темой в области современного машиностроения, так как именно от нее зависит долговечность автомобиля и безопасность его эксплуатации, что ранее не рассматривалось.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Полюшкин Н.Г.* Основы теории трения, износа и смазки: Учебное пособие. Красноярск: ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет», 2013.
2. Штиб А.В. Трение в машинах, трение и износ в машиностроении. URL: <https://novainfo.ru/article/10236>

УДК 621.432.98

ОПЫТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Д.П. Сальников, М.С. Балунув

Научный руководитель – **М.С. Балунув**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются способы повышения эффективности и экологичности двигателей внутреннего сгорания за счёт применения новых конструктивных решений.

***Ключевые слова:** производство, усовершенствование, экология, экономия*

EXPERIMENTAL ENGINES

D.P. Salnikov, 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 and environmental friendliness of internal combustion engines through the use of new design solutions are considered.

***Keywords:** production, improvement, ecology, economy*

Самый распространенный тип современного двигателя, это двигатель внутреннего сгорания. ДВС устанавливают на автомобилях, танках, самолетах, тракторах, моторных лодках и т.д.

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – это тип двигателя, тепловой машины, в которой химическая энергия топлива (обычно применяется жидкое или газообразное углеводородное топливо), сгорающего в рабочей зоне, преобразуется в механическую энергию. По рабочему циклу различают 2- и 4-тактные; по способу приготовления горючей смеси – внешним (напр., дизели) смесеобразованием; по виду преобразователя энергии – поршневые, турбинные, реактивные и комбинированные.

Главное достоинство двигателя внутреннего сгорания, обеспечившее ему огромную популярность во всех видах транспорта на долгие годы вперед – это автономность работы. Двигатель способен работать практически в любых условиях в течение очень долго времени. Ресурс современного двигателя без капитального ремонта составляет 150-200

тысяч километров. Высокая энергия топлива обеспечивает расход топлива на уровне ~10 л на 100 км пройденного пути, что позволяет обходиться без частых дозаправок. В настоящее время усилия ученых и инженеров направлены на создание экологически безопасных, высокоэффективных и надежных двигателей.

Совершенствование ДВС связано с проблемой устранения недостатков характерных для этого типа машин: высокого уровня шума, невозможности непосредственно соединять двигатель с колесами, токсичности отработавших газов, вибрации, значительных потерь теплоты в окружающую среду, потерь на трение в движущихся деталях. Испанская компания INNengine предлагает новое веяние в двигателестроении, которое связано с существенными конструктивными изменениями в поршневом двигателе внутреннего сгорания. Конструктивные изменения поршня позволяют за один его ход совершить полный рабочий цикл. Он срабатывает каждые 180 градусов, или дважды при каждом обороте. Это означает, что в два раза чаще, чем двухтактный и в четыре раза чаще, чем четырехтактный двигатель. Это дало название двигателю «Однотактный». Топливная смесь (топливо) подается в камеру под давлением, выброс отработавших газов осуществляется с помощью глубокого вакуума, который создается в выпускном тракте. Моменты впуска топливной смеси (топлива) и выпуск отработанных газов контролируются электронной системой.

Принцип работы определяет, что перед тем, как произвести запуск двигателя, необходимо включить насосы: вакуумметрический насос, предназначенный для создания вакуума в выхлопном тракте для освобождения рабочего объема от продуктов сгорания;

- насос избыточного давления, связанный с выпускным трактом. Основное назначение создавать давление воздуха во впускном тракте в пределах 6-20 атм (кПа) в зависимости от вида используемого топлива. После чего включает систему зажигания и систему пуска, за счет проворачивания коленчатого вала происходит воспламенение горючей смеси (карбюратор - от искры, дизель - от сжатия). Открытие впускных и выпускных клапанов происходит электромагнитным способом. Сигнал для исполнения подают датчики, установленные на фланце коленчатого вала в зависимости от нахождения поршня. Удаление отработанных газов производится вакуумом, с дальнейшей передачей их в распределительный и очистительный узел, с целью предотвращения попадания вредных выбросов в атмосферу. Такой «Однотактный двигатель внутреннего сгорания» имеет существенные преимущества перед другими ДВС:

- маленький вес, при большей мощности;
- уменьшенный расход топлива на единицу мощности;
- контролируемая токсичность.

Проведенный анализ и сравнения позволяют отметить, во всех традиционных двигателях мощность механических потерь примерно 55% расходуется на трение поршней и эти потери сокращены приблизительно до 10%, так как рабочий цикл совершается за одно движение поршня от одной мертвой точки к другой. Проведенные расчеты при оценке доли индикаторной мощности, затраченной на механические потери, производятся по величине механического КПД, который представляет отношение эффективной мощности к индикаторной, нашего двигателя. Двигатель наш может иметь КПД = 0,98 по сравнению с 0,7-0,87.

Литровая мощность, оценивающая использование рабочего объема, является технико-экономическим показателем двигателя может достигать до 100 кВт/л сегодня 15-40 кВт/л. Теоретически расход топлива на 100 км, 1 литр. За счет рационального использования выделяемого тепла при сгорании горючей смеси, и строгой дозировки топлива при смесеобразовании на различных режимах его работы, а также электронная система газораспределительного механизма позволяет более плотно очищать рабочий объем от продуктов сгорания в предыдущем цикле. Таким образом новизна использования инновационного двигателя в автомобилестроении позволит полностью исключить вредные выбросы, получаемые от автомобилей. Окружающая среда станет намного чище, расход топлива сократится в разы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рябов С.* Однотактный двигатель внутреннего сгорания / С. Рябов, А. Орлов // Наука и жизнь. 2023. № 4. URL: <https://www.nkj.ru/konkurs/detail.php?ID=22557>
2. *Тетяков И.* E-REX - однотактный оппозитный поршневой двигатель весом всего 38 кг. URL: <https://carsweek.ru/news/moto/1263771/>.
3. Патент № 2665766 RU. Однотактный двигатель внутреннего сгорания. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2665766C2_20180904

УДК 359:347.77

АВТОМОБИЛЬНЫЕ БАЗОВЫЕ ШАССИ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ ВОЙСК

П.В. Ройхка, В.В. Капралов

Научный руководитель – **В.В. Капралов**, канд. пед. наук

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются основные автомобильные – базовые шасси зенитных ракетных войск, применяющиеся на современных образцах вооружения и военной техники, история их создания, конструктивные особенности, особенности применения и технического обслуживания.

***Ключевые слова:** автомобиль, шасси, история, обслуживание, применение, вооружения, техника*

AUTOMOBILE BASIC CHASSIS OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE TROOPS

P.V. Royhka, V.V. Kapralov

Scientific Supervisor – **V.V. Kapralov**, Candidate of Pedagogical Sciences

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The main automobile - base chassis of anti-aircraft missile troops, used on modern weapons and military equipment, the history of their creation, design features, features of application and maintenance are considered.

***Keywords:** automobile, chassis, history, maintenance, application, armaments, technique*

Автомобильно-базовые шасси и тягачи и разработанные на их базе седельные тягачи – важнейшая составляющая военной автомобильной техники, во многом определяющая боевой потенциал отечественных зенитных-ракетных войск. АБШ предназначены для монтажа, транспортирования и обеспечения боевого применения вооружения и военной техники способствуют успешному ведению боевых действий.

Необходимость разработки АБШ была вызвана созданием в конце 50-х годов XX века комплексов вооружения большой массы и габаритов, прежде всего ракетного вооружения. С этого времени начался поиск

компоновочных и конструктивных решений колесных машин, коренным образом отличающихся от ранее выпускавшихся в стране двух- и трехосных автомобилей. Поскольку в стране и за рубежом не было таких машин и, соответственно, теоретических проработок в этой области, разработчикам на первых порах приходилось действовать по интуиции, создавая многочисленные модели и макетные образцы, постепенно накапливая опыт и добиваясь положительных результатов.

Основными отличиями СКШТ от автомобилей многоцелевого назначения являются:

- большая монтажная длина и ширина рамы, позволяющая размещать крупногабаритные изделия вооружения и военной техники (ВиВТ),
- независимая подвеска всех колес для обеспечения требуемой плавности хода, вибронегруженности экипажа и монтируемого ВиВТ,
- «разрезные» мосты и шины большого диаметра, в основном широкопрофильные, для обеспечения повышенного дорожного просвета,
- полноприводность как необходимое условие высокой проходимости по деформируемым опорным поверхностям.

Автомобильные базовые шасси укомплектовываются дизельными двигателями большой мощности и сложной трансмиссией, которые обуславливают требуемые энерговооруженность, тягово-скоростные свойства и подвижность. Повышенные требования к ТБ со стороны разработчиков подвижных комплексов вооружения вызвали необходимость разработки специальных образцов с высоким уровнем технических и эксплуатационных характеристик. Автомобильные-базовые шасси (АБШ) прошли сложный путь развития от трехосных образцов до двенадцатиосных, от семитонной грузоподъемности до 80-тонной, от одинокосных машин до многоосных двух-трехзвенных автопоездов, в ряде случаев не имеющих аналогов в мире.

Наличие АБШ в ЗРВ обусловлено тактическим применением зенитных ракетных комплексов (ЗРК). Помимо того, что ЗРК должны быть подвижными, ещё необходимо осуществлять автономное электропитание данных ЗРК от средств энергетики, расположенных на АБШ. Важным параметром боевой готовности ЗРК при несении боевого дежурства является время свертывания – развертывания. В современных ЗРК данный параметр доводят до нескольких десятков минут. А приведение в боевую готовность – не более 10 минут. После произведение пуска ракет и поражения воздушных целей ЗРК свертывается и передислоцируется в другой район несения боевого дежурства. Именно здесь и важно устройство и технические характеристики АБШ.

Первые ЗРК были стационарными, например: вокруг Москвы было развернуто два кольца противовоздушной обороны. Именно стационарность обуславливало такое большое количество полков. Последующие

ЗРК постепенно переходили на колесное шасси. Но самым главным прорывом в этой области стал появившийся в 80-х годах 20 века ЗРК С-300. Он был полностью на колесном шасси, преимущественно использовались тягачи МАЗ, КраЗ.

С качественным развитием ЗРК, появился ЗРК С-400, на данный момент для транспортировки командного пункта дивизиона используется МЗКТ-7930. Для транспортировки радиолокационного комплекса МЗКТ-7415. УРАЛ-532561 применяется в качестве АБШ пункта боевого управления полка. Пусковые установки зенитного ракетного дивизиона устанавливаются на АБШ БАЗ-6402 и МАЗ-543М. Зенитный ракетный пушечный комплекс «Панцирь С1» транспортируется на КамАЗ-6560. В качестве дежурного тягача в основном используются УРАЛ-4350, БАЗ-69092, КамАЗ-4350.

Таким образом, в зенитных ракетных войсках применяется большая разновидность АБШ, у каждого образца вооружения и военной техники своя задача, поэтому и АБШ, на котором этот образец установлен – тоже должен выполнять определенные функции. Все АБШ зенитных ракетных войск имеют в своем составе фильтровентиляционную установку, подогреватели – для пуска в холодное время года, специальные пульта управления. Важной задачей АБШ является обеспечение образца вооружения и военной техники автономным электропитанием, которое реализуется при помощи генераторных установок, расположенных непосредственно на АБШ. Это позволяет прямо с марша перевести технику в боевое положение без дополнительных средств энергетики, что позволяет качественно, своевременно, в любых погодных условиях выполнять боевые задачи по назначению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тарасов А.* Специальные колесные шасси для систем вооружения. URL: <http://otvaga2004.ru/kaleydoskop/kaleydoskop-wheel/kolesnye-shassi/>.
2. ЗРС С-400 «Триумф»: обнаружение – дальнее, сопровождение – точное, пуск – поражающий. URL: http://site3f.ru/interesnye-stati/220/246/zrs_s-400_triumf.
3. Шасси Урал-532361. URL: <http://www.avtomash.ru/pred/uralaz/ural532361.htm>.
4. Тест-драйв БАЗ-6402, тягача ЗРС С-400 «Триумф». URL: <https://topwar.ru/92869-test-drayv-baz-6402-tyagacha-zrk-s-400-triumf.html>

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

П.А. Родичкин, М.С. Балунув

Научный руководитель – **М.С. Балунув**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются способы применения альтернативных автомобильных технологий для снижения количества выбросов в окружающую среду.

Ключевые слова: экология, выбросы, альтернативное топливо, экономия

AUTOMOTIVE TECHNOLOGIES

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 using alternative automotive technologies to reduce the amount of emissions into the environment are considered.

Keywords: ecology, emissions, alternative fuel, economy

Область применения двигателей внутреннего сгорания в настоящее время приобрела глобальный характер. Многочисленные научные исследования и разработки сделали ДВС сложной, но очень надежной системой. При этом опыт многолетней эксплуатации транспортных средств выявил некоторые недостатки.

Основным недостатком ДВС является фактор загрязнения окружающей среды выхлопными газами.

Процент загрязняющих веществ, попадающих в атмосферу с выхлопными газами, составляет около 61% от общего загрязнения.

Поэтому возникла необходимость создать совершенно другой двигатель, который работал бы с разными видами топлива и не имел бы вредных выбросов в атмосферу.

Электромобиль – это самый распространенный вариант автомобиля, который не использует бензин или дизельное топливо. Его основа – электродвигатель, работающий от аккумуляторной батареи. Аккумулятор

заряжается от бытовой электросети или на специализированных станциях. Основным показателем является емкость аккумулятора и дальность совершаемой поездки, которая от него зависит. Пробег первых серийных автомобилей составлял 60 км на одной зарядке. Сейчас это число достигает 300 км. По техническим характеристикам электромобили можно сравнить с малолитражками Nissan Leaf.

Обладатель титула «World Car of the Year 2011 года» может проехать 200 км на одной зарядке. Он оснащен двигателем мощностью 80 кВт, питаемым от литий-ионной батареи емкостью 24 кВт·ч.

Гибриды и электрические гибриды - самые распространенные автомобили в современном мире – это гибридные автомобили. Они сочетают в себе электродвигатели и двигатели внутреннего сгорания. Есть много вариантов использования электротяги, например, в качестве вспомогательной функции в кроссоверах и внедорожниках или в качестве основного источника энергии. Обычно электроника самостоятельно определяет, в какой момент необходимо подключить электродвигатель, в зависимости от ситуации. Обычно его используют при движении на малых скоростях (около 30 км/ч) этот режим наиболее вреден для ДВС.

Автомобили, для которых электромотор является основным двигателем, можно назвать подвидом гибридных автомобилей. Их можно заряжать от розетки, как обычные электромобили. При этом на них установлены небольшие двигатели, которые являются запасными или необходимыми для перемещения, требующего значительных усилий.

Альтернативное топливо. В эту категорию входят машины, использующие соответствующий газ, этанол, биоэтанол, биодизель или другие виды топлива, не полученные из нефти. По сути, эти автомобильные двигатели – это те самые двигатели внутреннего сгорания, которые настроены на использование какого-то типа углеводородов. Польза от их использования заключается в снижении вредных выбросов в атмосферу.

Примером такого экологического транспортного средства является Honda Civic Natural Gas, который определяется как самый безопасный в соответствии с GreenCarPublication. Внешне это обычный автомобиль, а вот внутри находится четырехцилиндровый двигатель объемом 1,8 л мощностью 11 лошадиных сил. Расход бензина - 5,35 л на 100 км.

Водород и топливные элементы. Самое экологически чистое топливо - водород - было открыто давным-давно. Продуктом горения водорода является вода, которая испаряется в атмосферу без вреда для здоровья. В настоящее время разрабатываются такие двигатели, которые используют водород как непосредственно (в качестве двигателя внутреннего сгорания), так и косвенно (топливные элементы). Его принцип и устройство очень похожи на аккумулятор, который можно заряжать, а затем использовать накопленную электрическую энергию. Другим источником

топливных элементов является алюминий, в результате химических реакций которого также выделяется энергия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альферович В.В.* Токсичность двигателей внутреннего сгорания: учебно-метод. пособие для студентов специальности «Двигатели внутреннего сгорания» дневной и заочной форм обучения. В 2 ч. Ч. 1: Анализ состава отработавших газов. Минск: БНТУ, 2016. 54 с.
2. *Варшавский И.Л.* Как обезвредить отработавшие газы автомобиля / И.Л. Варшавский, заслуж. деятель науки и техники РСФСР, д-р техн. наук, проф., Р.В. Малов, канд. техн. наук. М.: Транспорт, 1968. 127 с.

УДК 629.331

**ОТЕЧЕСТВЕННОЕ АВТОМОБИЛЕТРОЕНИЕ
НА СЛУЖБЕ ВС РФ. НАДЁЖНОСТЬ, КАЧЕСТВО
И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

К.А. Осычный, Д.Д. Кучинский, А.М. Канаев

Научный руководитель – **А.М. Канаев**, преподаватель

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются сравнительные характеристики машин марки «Урал» и «Камаз». Причины использования их в ВС РФ.

***Ключевые слова:** автомобиль, усовершенствование сравнительная характеристика*

**DOMESTIC AUTOMOBILE CONSTRUCTION
IN THE SERVICE OF THE ARMED FORCES
OF THE RUSSIAN FEDERATION. RELIABILITY, QUALITY
AND COMPARATIVE CHARACTERISTICS**

K.A. Osychny, D.D. Kuchinsky, A.M. Kanaev

Scientific Supervisor – **A.M. Kanaev**, Lecturer

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The comparative characteristics of cars of the Ural and Kamaz brands are considered. The reasons for their use in the Armed Forces of the Russian Federation.

***Keywords:** car, improvement, comparative, characteristics*

Изучение машин, стоящих на вооружении Вооруженных Сил Российской Федерации, поможет понять перспективы дальнейшего развития отечественного военного машиностроения.

В современной обстановке, когда на РФ наложены санкции западных стран, закупки запчастей и ремонт для эксплуатируемых в нашей стране машин западного производства проблематичны. Поэтому главным вопросом для военного автомобиля строения становится усовершенствование отечественных машин.

На сегодняшний день в нашей стране наиболее массовыми и популярными в войсках являются автомобили «Урал» и КамАЗ. Чтобы сопос-

тавить их характеристики и выделить положительные и отрицательные стороны возьмём для образца две схожие модификации с V-образными 8-мицилиндровыми двигателями и колёсной формулой 6х6.

В таблице 1 приведены основные данные автомобилей Урал-4320 и КАМАЗ-4310.

Таблица 1. Технические характеристики автомобилей Урал-4320 и КАМАЗ-4310

Наименование	Длина, мм	Дорожный просвет, мм	Мощность, л/с	Расход топлива, л	Грузоподъемность, т	Преодолеваемого брода, м	Скорость, км/ч	Масса в снаряжённом сост. / полная, т
Урал-4320	7360	400	240	32	66	1,7	85	9,1/15,4
КАМАЗ-4310	7435	365	210	27	6	1,4	90	7/15

Урал-4320

На вооружении: с 1977 года. Принципиальная конструкция этого грузовика была разработана еще в конце 50-х годов. Стране, вступившей в холодную войну, остро был необходим сверхпроходимый тяжелый автомобиль. Среднетоннажный Урал ЗИС-355, который тогда стоял на вооружении, этим требованиям не отвечал, и разработку начали с чистого листа. Первая модификация нового «Урала» имела индекс 375 и впервые была показана на параде 7 ноября 1960 года. Грузовик обладал фантастической проходимостью и выносливостью, но бензиновый зилковский V8 потреблял 50-70 литров топлива, что затрудняло эксплуатацию в отдаленных районах. Появившийся спустя 17 лет «Урал» -4320 отличается от предшественника наличием менее прожорливого дизельного двигателя ЯМЗ. Автомобиль выпускается по сей день на заводе в Миассе и используется для перевозки личного состава, грузов, а также в качестве шасси для орудий. Есть бронированная версия – «Урал»-4320-30 для работы в зоне боевых действий.

КАМАЗ-4320

Длина – 7435 мм, немного больше Урала, дорожный просвет 365 мм – меньше. Двигатель: дизельный V8 объемом 10,9 литра имеет меньшую мощность, но при этом автомобиль развивает большие скоростные характеристики при меньшем расходе топлива.

Трансмиссия: 5-ступенчатая МКПП с 2-ступенчатой «раздаткой». Постоянный полный привод. На вооружении данная модель с 1995 года. Армии был необходим современный маневренный безкапотный грузовик средней грузоподъемности, который бы занял нишу между «среднетоннажниками» ГАЗ и тяжелыми «Уралами». КАМАЗ выигрывает благодаря лучшей управляемости и плавности хода, чем у его капотных собратьев. Помимо «трехосника», КАМАЗ-4310 также поставляет в Вооруженные

силы двухосную модель 4350 и четырехосную 6350. А также модель 6560 для ПЗРК «Панцирь С1».

Из всего видно, что в целом оба автомобиля схожи по своим техническим данным. Но по опыту эксплуатации и отзывам водителей Урал более неприхотлив в трудных полевых условиях. У него лучше проходимость, менее требователен к тепловому режиму. При пробое радиатора в боевых условиях Урал на тихом ходу ещё может в течение 20-25 минут передвигаться по дороге.

Урал-4320 является машина переднего края линии фронта, на нём удобнее подвозить припасы, личный состав и т.д., это связано с тем, что у него больший дорожный просвет по сравнению с КамАЗ, также больше грузоподъемность, а наличие капота у «Урала» добавляет дополнительную выживаемость водителю.

КамАЗ более приспособлен по движению по шоссе и облагороженным дорогам. Имеет меньший расход топлива, более комфортен и легче в управлении, из этого следует сделать вывод, что эта машина более приспособлена к передвижению войск из тыла на передовую.

Таким образом, оба автомобиля по своим данным могут качественно выполнять задачи вооружённых сил. Они обладают невысокой стоимостью по сравнению с западными образцами, и высокой степенью унификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. КамАЗ // Энциклопедия военных автомобилей. 2-е изд., перераб. и доп. М.: За рулём, 2008.
2. *Пьянков С.А.* Первые шаги уральского автомобилестроения: из истории УралЗИС в годы Великой Отечественной войны // Архив в социуме – социум в архиве: материалы регион. науч.-практ. конф. / сост., науч. ред. Н.А. Антипин. Челябинск, 2018. С. 243–247.

ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С БЕСШАТУННЫМ МЕХАНИЗМОМ

А.Э. Огородников, М.С. Балунов

Научный руководитель – **М.С. Балунов**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны

В наше время широко распространены двигатели внутреннего сгорания с кривошипно-шатунным механизмом. Они отличаются высокой надежностью, мощностью, неприхотливостью. Однако при использовании кривошипно-шатунного механизма, в работе создается боковое усилие поршня на стенку цилиндра, что приводит к уменьшению кпд и повышенному износу. В статье представлено решение данной проблемы – использование бесшатунного механизма, исключающего боковое давление поршня о стенку цилиндра.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, кривошипно-шатунный механизм, бесшатунный механизм, увеличение КПД

INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH A RECOILLESS 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

Nowadays, internal combustion engines with a crank mechanism are widespread. They are characterized by high reliability, power, and unpretentiousness. However, when using a crank mechanism, a lateral piston force is created on the cylinder wall, which leads to a decrease in efficiency and increased wear. The article presents a solution to this problem – the use of a piston-less mechanism that eliminates the lateral pressure of the piston against the cylinder wall.

Keywords: internal combustion engine, crank mechanism, rodless mechanism, efficiency increase

Кривошипно-шатунные двигатели внутреннего сгорания получили широкое распространение в технике благодаря высокой надежности, мощности. Двигатели этого типа производятся и постоянно совершенст-

вуются с конца XVIII века. Основным его элементом является кривошипно-шатунным механизм, их различают на аксиальный, дезаксиальный и с прицепным шатуном. Однако конструктивная особенность КШМ в том, что в процессе работы в поршневой группе возникает сильнейшее боковое давление поршня на стенку цилиндра и его перекокс (рис. 1). Максимум усилия поршня на стенку цилиндра наблюдается при положении кривошипа на 90° и 270° по отношению к цилиндру соответственно. Эти негативные явления приводят к повышенному износу цилиндропоршневой группы, снижению КПД, повышению расхода топлива.

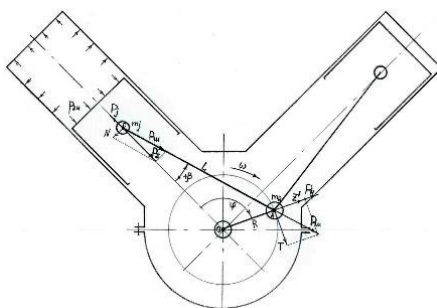


Рис. 1

Исключить ее можно, применив такой механизм, в котором шатун двигался бы только возвратно-поступательно, не совершая угловых качаний относительно оси поршневого пальца.

В принципе работы такого механизма лежит частный случай гипоциклоиды: при обкатке малой окружности внутри другой, имеющей больший радиус в два раза больше, точки A и B малой окружности будут перемещаться по взаимно перпендикулярным прямым (рис. 2).

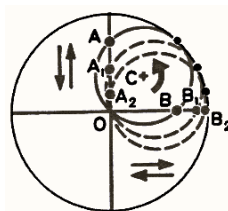


Рис. 2

Используя это свойство, возьмем кривошип OC , промежуточное звено ACB , два поршня, расположенных на перпендикулярных осях. Для

точечтобы точки A и B перемещались прямолинейно, отношение OC к AB примем как 1:2 (рис. 3).

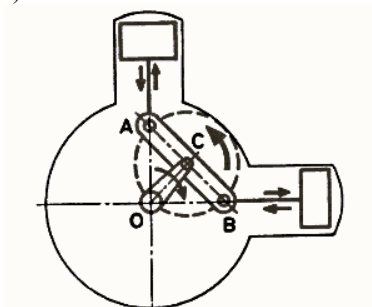


Рис. 3

Определим траекторию движения точки C :

Координаты точки C при произвольном положении стержня AB , когда он расположен по отношению к оси OY под некоторым углом α :

$$y_c = BC \cos \alpha = r \cos \alpha, \quad (1)$$

$$x_c = AC \sin \alpha = r \sin \alpha. \quad (2)$$

Точка C движется по окружности радиусом r с центром в точке O .

Соединим точку C с точкой O кривошипом OC и установив направляющие вдоль осей OY и OX , получим механизм, преобразующий прямолинейное движение точек A и B во вращательное движение кривошипа OC . Сила, приложенная в точке A или B по направлению их движения, будет проворачивать кривошип OC и, наоборот, вращение кривошипа OC – перемещать точки A и B вдоль их направляющих. Такая кинематическая схема и лежит в основе механизма бесшатунного двигателя.

Приведу два самых перспективных варианта исполнения механизма бесшатунного двигателя:

Начнем с механизма, в котором промежуточное звено ACB выполнено в виде двухопорного двухколенного вала. Основные элементы этого механизма: поршневые штоки 1 с поршнями и ползунами. Штоковые шейки совершают со штоками 1 возвратно-поступательное движение по осям соответствующих цилиндров и одновременно вращаются вокруг своих осей с противоположными угловыми скоростями. Опорные шейки одновременно с вращением относительно своей оси с угловой скоростью ω_c совершают круговое движение относительно оси OO' вместе с подшипниками CC' кривошипов OC и $O'C'$, нагружаемых полезным крутящим моментом (рис. 4). Такая компоновка может успешно применяться с

использованием блочных конструкций и устанавливаться на генераторных станциях, вертолетах.

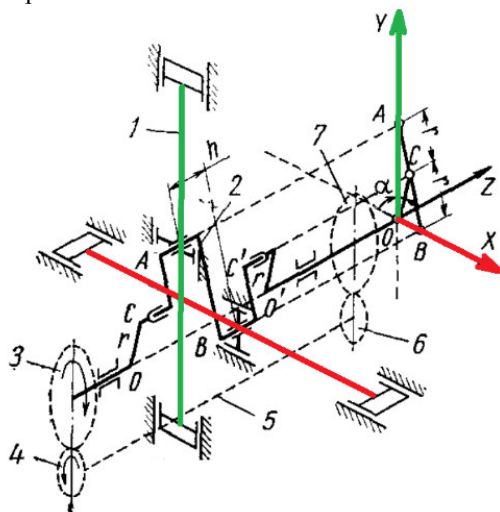


Рис. 4

Следующий вариант механизма показан на (рис. 5), в нем звено *ACB* выполнено в виде спаренных эксцентриков 12, а звено *OC* имеет вид коленчатого вала, который по форме, нагрузке и кинематике аналогичен валам кривошипно-шатунных двигателей, но имеет в 2 раза меньший радиус кривошипов. Применение эксцентрикового механизма позволит существенно уменьшить продольные размеры двигателя. Такой механизм будет наиболее выгоднее применять при небольшом ходе поршня и относительно небольшом объеме двигателя. Самым перспективное направление применения таких конструкций – беспилотные летательные аппараты, которые в последнее время наиболее вострабованы.

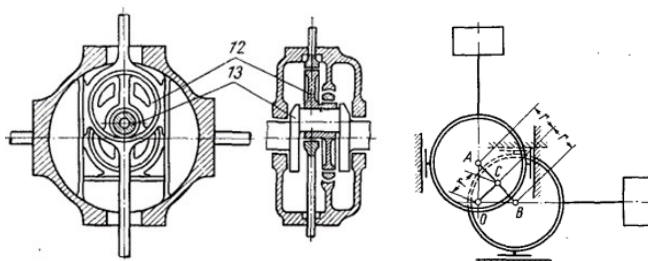


Рис. 5

При использовании бесшатунного механизма в разы уменьшается трение поршней о боковые стенки цилиндра, и значительно снижаются нагрузки и трение в кинематических парах механизма на единицу развиваемой мощности. Применение БСМ позволит снизить суммарные потери мощности, уменьшить износ, снизить расход топлива по сравнению с классическим КШМ, уменьшить массу, а также повысить надежность (использование меньшего количества деталей), тем самым и создаются благоприятные условия для форсирования двигателей по наддуву и увеличению скорости перемещения поршня.

Таким образом, данные типы механизмов являются перспективной разработкой. Применение бесшатунного механизма позволит открыть новые диапазоны мощностей при применении современных технологий, реализуемых на двигателях XXI века.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Колчин А.И.* Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. 3-е изд., перераб и доп. М.: Высш.шк., 2002. 496 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория д 23 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.

УДК 621.45.034

**МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ИСПЫТАНИЙ ФОРСУНКИ
DENSOMOD7850 НА ПРЕДПРИЯТИИ АО ЯЗДА**

А.А. Мишин, М.С. Балунов, М.С. Фонарев

Научный руководитель – **М.С.Балунов**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются способы повышения эффективности развития машиностроения в сфере двигателе строения.

Ключевые слова: производство, усовершенствование, экология, экономия

**METHODS AND THE WAYS OF TESTING DENSO'S NOZZLE,
MOD. 7850 ON THE YAZDA**

A.A. Mishin, M.S. Balunov, M.S. Fonarev

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The introduction of Euro 4 Euro 5 environmental standards forces engine manufacturers to look for ways to solve the problem of reducing toxicity and noise. Mechanical injection systems are replaced by a Common Rail supply system, which is much better.

Keywords: production, improvement, ecology, economy

Введение экологических норм Евро-4, Евро-5 заставляет производителей двигателей искать пути решения проблемы снижения токсичности и шумности работы. На смену механическим системам впрыска приходит система подачи CommonRail.

С 50-60-х годов дизельный двигатель начал широко устанавливаться на грузовые автомобили, а с 70-х годов в связи с удорожанием бензина, на него обратили внимание и производители легковых автомобилей. К тому же токсичность выбросов дизельного двигателя гораздо ниже, чем бензинового.

Введение экологических норм Евро-4, Евро-5 заставляет производителей двигателей искать пути решения проблемы снижения токсичности и шумности работы.

На смену механическим системам впрыска приходит система подачи топлива CommonRail, которая имеет ряд преимуществ:

Давление, при котором происходит впрыск топлива, можно поддерживать вне зависимости от скорости вращения коленчатого вала двигателя, и оно остаётся практически постоянно высоким в течение всего цикла подачи топлива, что особенно важно для стабилизации горения на холостом ходу и на малых оборотах при работе с частичной нагрузкой;

При использовании аккумуляторной системы подачи топлива момент начала и конца подачи может в широких пределах регулироваться ЭБУ. Это позволяет более точно дозировать топливо, а также осуществлять подачу топлива несколькими порциями в течение рабочего цикла — для более полного сгорания топлива;

Конструкция CommonRail проще, чем у системы ТНВД с форсунками, её ремонтпригодность выше.

Также средством оптимизации топливной аппаратуры дизеля является повышение давления впрыска, что улучшает качество распыливания топлива, ускоряет выгорание топлива в диффузионной фазе процесса.

Все современные дизельные топливоподающие системы имеют возможность разделять дозы впрыскиваемого топлива на несколько частей с регулированием фазового интервала между ними в течение одного цикла.

Многофазный впрыск оказывает важное влияние на экологические и экономические параметры дизеля. Применение предварительного впрыска (впрыскивается сверхмалый объем топлива 1-3 мм³ перед подачей основной дозы топлива) позволяет снизить период задержки воспламенения.

Целью данной работы было изучение методов конструктивных особенностей форсунок системы Common Rail, а именно:

- определить характеристики топливоподачи;
- определить регулировочные параметры форсунок;
- провести анализ конструкции форсунки и определить геометрические параметры основных деталей и узлов, твердость основных деталей форсунки.

В качестве объекта испытаний были выбраны форсунки фирмы Denso мод. 7850.

В двигателях нового поколения не происходит детонации, взрыва смеси, как это было у старых двигателей. Перед тактом сжатия происходит короткий впрыск, что подготавливает смесь, она разогревается не резко. Происходит один два коротких впрыска для того, чтобы они про-

изошли форсунка должна обеспечивать предвпрыск. Это впрыск короткой длительности порядка 200-250 мс.

Блок управления делает короткий впрыск перед сжатием, во время сжатия он делает основной и далее делает еще несколько впрысков дожигания, т.е. процесс сгорания начинается плавно, протекает плавно и заканчивается плавно. В этом и отличие от прежних двигателей с одним впрыском-взрывом.

В качестве вывода можно отметить, что если этого предвпрыска нет, так как форсунка не может его обеспечить или же из-за неправильной регулировки или же из-за механической неисправности (подклинивает шток), то сгорание происходит со звуком. По диагностике это видно, как неровная работа форсунок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы конструкции современного автомобиля: Учебник / А.М. Иванов, А.Н. Солнцев [и др.]. М.: ООО «Изд-во «За рулем»», 2012.
2. *Обозов А.А.* Оптимизация процессов в топливной аппаратуре дизеля с целью улучшения его экономических и экологических характеристик / А.А. Обозов, Д.И. Субботенко, В.В. Тараканов // Вестник Брянского техн. ун-та. 2014. № 2 (42)
3. *Мазинг М.В.* Дизельные аккумуляторные топливные системы нового поколения типа «Common Rail» / М.В. Мазинг, Ф.И. Пинский, О.В. Олисевиц // Мобильная техника. 2004. №1. С. 31-36.
4. Обеспечение малотоксичного рабочего процесса. URL: <http://www.science-education.ru/111-10237>.
5. Обеспечение экологических показателей уровня Евро-4 и Евро-5 на автомобильных дизелях Минского моторного завода. URL: <http://podelise.ru/docs/89101/index-104.html>.

УДК 359:347.77

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЕЙ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ДВИГАТЕЛЕМ

Н.А. Мачехин, М.С. Балунов

Научный руководитель – **М.С. Балунов**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются способы повышения эффективности развития аддитивных технологий, альтернативных традиционному производству, требующему огромных инвестиций и ресурсов.

***Ключевые слова:** производство, усовершенствование, экология, экономия*

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ELECTRIC VEHICLES

N.A. Machekhin, 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.

Проблема замены энергии углеводородов в силовых агрегатах автомобиля и не только является одной из основных в современном мире. На рынке в последнее время появилось большое количество альтернативных двигателю внутреннего сгорания силовых установок. Одним из основных конкурентов углеводородам на данный момент является применение электроэнергии. У электрических агрегатов есть ряд несомненных преимуществ: высокий коэффициент полезного действия – до 95 процентов, компактность, малый вес, простота использования, экологич-

ность, долговечность, создается максимальный показатель крутящего момента на любой отметке скорости, воздушное охлаждение, способны функционировать в режиме генератора, не нужна коробка передач, возможность регенерации энергии торможения и т. д. Существенных недостатков у электродвигателя нет.

Основной проблемой является питание агрегата, что тормозит распространение и широкое использование технологии. Электродвигателем является устройство, преобразующее электроэнергию в механическую. Принцип работы электродвигателя основывается на явлении электромагнитной индукции. Электродвигатель включает в себя статор и ротор. Вращающееся магнитное поле в статоре действует на обмотку ротора и наводит в нём ток индукции, возникает вращающий момент, который приводит в движение ротор. Электроэнергия, поступающая на обмотки мотора, преобразуется в механическую энергию вращения. Электродвигатели, применяемые в автомобилях, можно условно классифицировать по типу тока:

- устройства переменного тока;
- устройства постоянного тока;
- решения универсального образца (способны функционировать от постоянного и переменного тока).

Устройства переменного тока делятся на группы:

- асинхронные – скорость вращения магнитного поля статора выше скорости вращения ротора;
- синхронные – частоты вращения магнитного поля статора и ротора совпадают.

Характеристиками электромобилей являются не только показатели мощности, крутящего момента, но и частота вращения, ток и напряжение. В Соединённых Штатах Выпуск электромобилей к началу XX века достиг 10 тысяч экземпляров, а их количество в несколько раз превышало количество автомобилей с двигателем внутреннего сгорания. Характеристики электромобилей на рубеже XIX-XX веков были на то время впечатляющими. Оба агрегата способны создать условия для перемещения транспортного средства.

Основная масса существующих на данный момент гибридных автомобилей относятся к параллельным. Гибридная система существенно снижает уровень выводимых газов и увеличивает продуктивность расхода топлива, что особо актуально в условиях крупного населенного пункта. Его КПД составляет 92%, а масса 3,6 кг. Нельзя не отметить еще один тип двигателя, который используется в некоторых современных моделях авто. Это система мотор-колесо. Питание мотора в этой схеме организовывает тяговая аккумуляторная батарея. Аккумуляторы в основном используются литий-ионного типа, которые включают в себя несколько

последовательно подключенных модулей. На выходе аккумулятора формируется напряжение от 300 В постоянного тока. Это значение определяется моделью авто. Современные образцы способны создавать и 700 В. Таким образом рынок транспортных средств постепенно поворачивается в сторону использования в качестве силовой установки электропривода, который обладает несомненными преимуществами по сравнению с двигателями внутреннего сгорания. Существуют два вида реализации электропривода транспортных средствах – электромобиль и гибридное авто.

Пока основным направлением разработок автопроизводителей является применение гибридных автомобилей. Это обусловлено минимальными расходами при производстве, т. к. позволяет адаптировать серийные автотранспортные средства и вести разработку новых моделей. Применения электромобилей ограничено по ряду технологических и эксплуатационных причин, в частности отсутствие развитой инфраструктуры обслуживания, высокая себестоимость и малый запас хода на одном заряде.

Одним из важных факторов, притормаживающий прогресс, является психология человека. В перспективе необходимо будет переубедить автомобилистов пересесть с бензиновых и дизельных автомобилей на электрические. Но это особенно сложно сделать тем, кто занимается автотонками или является любителем динамичной езды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устройство двигателя электромобиля. URL: [http:// autoleek.ru /dvigate/ jelektricheskiy-dvigatel/ustrojstvo-jelektromobilja.html](http://autoleek.ru/dvigatel/jelektricheskiy-dvigatel/ustrojstvo-jelektromobilja.html)
2. *Карамян О.Ю.* Электромобиль и перспективы его развития / О.Ю. Карамян, К.А. Чебанов, Ж.А. Соловьева // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 12–4. С. 693–696; Зарядные станции «ЭМИ»
3. Всероссийская программа развития зарядной инфраструктуры для электро-транспорта. Концепция создания Коммерческого оператора сети ЭЭС. М.: РОССЕТИ, 2015. 16 с.

УДК 629.331

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ (ВАТ) В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

Д.Д. Кучинский, А.А. Ваганов

Научный руководитель – **А.А. Ваганов**, преподаватель

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются факторы, влияющие на эксплуатацию Военной Автомобильной Техники, а также какие автомобили используются в условиях Арктики.

***Ключевые слова:** автомобиль, климатические условия, характеристика автомобилей*

FEATURES OF THE OPERATION OF MILITARY VEHICLES (WAT) IN THE ARCTIC CONDITIONS

D.D. Kuchinsky, A.A. Vaganov

Scientific Supervisor – **A.A. Vaganov**, Lecturer

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The factors affecting the operation of Military Vehicles are considered, as well as which cars are used in Arctic conditions.

***Keywords:** car, climatic conditions, characteristics of cars*

Актуальность темы данной работы обуславливается большой политической, экономической и социальной значимостью Арктики, как региона деятельности России. Без понимания, как правильно эксплуатировать ВАТ в условиях экстремально низких температур, выполнение задач будет невозможно.

Факторы, влияющие на эффективность эксплуатации ВАТ в условиях низких температур

Наибольшее число отказов ВАТ наблюдается в самые холодные месяцы года (рис. 1). При низких температурах появляется хладноломкость деталей, шины и другие резинотехнические изделия теряют эла-

стичность и на их поверхности появляются трещины, что сокращает срок их службы.

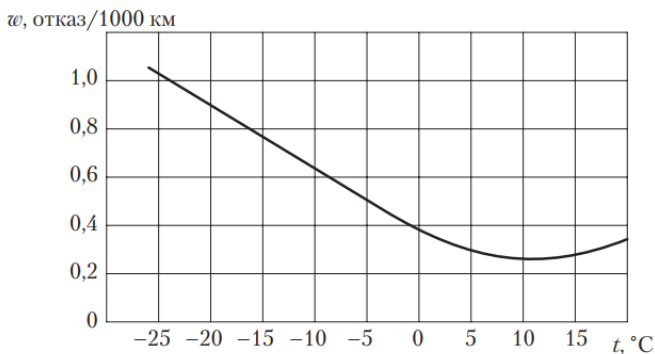


Рис. 1. Влияние температуры окружающего воздуха на удельное количество отказов

Специфика природно-климатических условий зоны холодного климата (низкие температуры окружающего воздуха, большая продолжительность зимнего периода со снеговым покровом и заснеженными дорогами) обуславливает ряд особенностей эксплуатации ВАТ.

Для эффективной и безопасной эксплуатации ВАТ в районах Севера технически и экономически целесообразно использовать модификации этой техники в северном исполнении. ВАТ должна надежно работать при безгаражном хранении в диапазоне температур окружающего воздуха от +40 до -60 °C и относительной его влажности до 98%. Особое внимание должно уделяться обеспечению надежного легкого пуска двигателя при низких температурах, определяющего в общем случае готовность к движению.

В условиях низких температур это приобретает чрезвычайно важное значение, характеризуя безопасность эксплуатации ВАТ.

Таким образом, освоение Арктики является одним из приоритетных направлений внешней политики Российской Федерации, что формирует основное направление создание новых образцов ВАТ способных с такой же эффективностью, как и в умеренном климате выполнять поставленные задачи. Главные задачи, которые необходимо решить при создании новых образцов ВАТ является устранение типовых неисправностей, таких как:

- затрудненный пуск двигателей;
- возрастание вязкости масла;
- коррозия деталей цилиндропоршневой группы двигателя;
- затруднения с поддержанием нормального теплового режима двигателя;

- переохлаждение агрегатов трансмиссии;
- замерзание жидкости в системах охлаждения двигателя;
- отказов топливной системы дизелей;
- снижается надежность гидравлического тормозного привода;
- ухудшение их топливной экономичности.

Устранение всех вышеперечисленных неисправностей позволит в разы повысить эффективность эксплуатации ВАТ в арктических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кудрявцев А.В.* Рекомендации по использованию средств эвакуации воинских формирований в Арктической зоне // Научно-технический сборник. 2018. №3. С. 18–33.
2. *Чистяков В.В.* Особенности использования автомобильной техники в Арктике // Научно-технический сборник. 2018. №6. С. 25–39.

УДК 678.01

МОДЕЛЬ ДИВЕРСИОННО-РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА СО СРЕДСТВАМИ ДАЛЬНОМЕТРИИ

В.А. Курилов, К.А. Кулайков, Д.С. Романюта

Научный руководитель – **Д.С. Романюта**, канд. техн. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Разработка диверсионного разведывательного устройства со средствами дальнометрии для групп разминирования

Ключевые слова: экономия, усовершенствование, рационализация

DEVELOPMENT OF A SABOTAGE RECONNAISSANCE DEVICE WITH RANGEFINDING EQUIPMENT FOR DEMINING TEAMS

V.A. Kurilov, K.A. Kulaikov, D.S. Ramonyuta

Scientific Supervisor – **D.S. Romanyuta**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The Development of a sabotage reconnaissance device with rangefinding equipment for demining teams.

Keywords: economy, rationalization, improvement

Ведущие технологически развитые страны (в том числе США, Россия, Великобритания, Франция, Китай, Израиль, Южная Корея), активно разрабатывают робототехнические комплексы, способные с высокой степенью автономности вести боевые действия без участия человека. Так, в Вооруженных силах США планируется, что к 2030 г. доля беспилотных и безэкипажных средств составит 30% от общего состава боевых машин. По оценкам американских военных специалистов, боевые возможности подразделений оснащенными робототехническими комплексами возрастут в 2-2,5 раза.

При этом можно констатировать, что их широкое применение приведет к коренному пересмотру основных принципов ведения войны, с учетом не только военно-технических ее аспектов, но и с учетом ее социально-психологических факторов. В связи с этим, актуальным является

анализ современного состояния и перспектив развития робототехнических комплексов военного назначения.

Авторским коллективом была разработана модель диверсионно-разведывательного устройства со средствами дальнометрии для штатных и внештатных групп разминирования. Устройство создано на базе шасси радиоуправляемой модели. В качестве средства определения скорости движущегося радиолокационного объекта был использован Допплеровский датчик НВ100. В качестве элементарного дальномера использован ультразвуковой датчик определения расстояния. Вся система скомпилирована на базе среды программирования Arduino. На ходовой части установлена камера HD разрешения для выполнения определенного вида задач, связанных с проведением войсковой и инженерной разведки (рекогносцировки). На колесной системе интегрирован разведывательный блок с возможностью изменения угла обзора местности.

В ходе сравнения разработанной системы с современными уже действующими беспилотными робототехническими комплексами был проведен анализ экономически выгодной модели устройства не во много раз уступающей по тактико-техническим характеристикам, принятым на вооружение комплексам. В процессе дальнейшего усовершенствования системы обнаружения и дальнометрии будут ликвидированы имеющиеся ошибки и неточности, ходовая часть станет более устойчивой.

Новизна работы заключается в выявлении общей тенденции развития робототехнических комплексов военного назначения. Также к новым результатам, стоит отнести выявленные частные тенденции развития этих комплексов с учетом специфики их применения для решения боевых задач в воздушной, наземной и морской (надводной и подводной) сферах.

Практическая значимость. Представленный анализ может быть использован техническими специалистами для обоснования новых технологических решений в области робототехники, а также военными специалистами для обоснования новых форм и способов вооруженной борьбы с учетом перспектив развития робототехнических комплексов военного назначения. Кроме того, данный анализ будет полезен научным работникам и соискателям, ведущим научные исследования для прикладного обоснования целесообразности предлагаемых ими улучшений военно-технических систем, за счет использования робототехнических средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства. М.: Советское радио, 1975. 336 с.
2. Бейкгал Дж. Конструируем роботов. Дроны. Руководство для начинающих. 2-е изд. М.: Лаборатория знаний, 2022. 226 с. Текст: электронный.

УДК 629.111

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Д.И. Кияницкий, М.С. Балунув

Научный руководитель – **М.С. Балунув**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются перспективы в развитии электромобилей, их разновидности, основные преимущества и недостатки.

Ключевые слова: электромобиль, перспективы, экономика, экология

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ELECTRIC VEHICLES

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 electric vehicles, their varieties, main advantages and disadvantages are considered.

Keywords: electric car, prospects, economics, ecology

На сегодняшний день автомобиль является одним из самых популярных и удобных средств передвижения. Но, несмотря на огромное количество преимуществ, автомобиль имеет и немало недостатков. Одним из самых крупных является то, что он наносит значительный ущерб окружающей среде. Этот факт побудил развитые страны разрабатывать и производить автомобили, которые менее расточительны и более экологичны.

Электромобиль – это автомобиль, приводимый в действие одним или несколькими электродвигателями, приводимыми в действие батареей или топливным элементом, а не двигателем внутреннего сгорания.

Какие преимущества электромобилей? В отличие от двигателей внутреннего сгорания, электромобили имеют много преимуществ, но их главное преимущество заключается в том, что они вообще не имеют выбросов, загрязняющих окружающую среду. Поскольку конструкция электромобилей

тромобилей очень проста, профилактическое обслуживание и ремонт обходятся дешево. Электричество, потребляемое батареями электромобилей, намного дешевле топлива, и оно также может заряжать батарею во время вождения. Например, поднимаясь и спускаясь со склона, днем можно заряжаться солнечной энергией, а ночью – от сети.

Обслуживание и ремонт электромобилей стоят дешево, но их создание или аккумулятор – очень дорогое удовольствие. Из-за использования драгоценных металлов для изготовления батарей это будет стоить дорого. Из-за вредных элементов, входящих в состав батареи, ее трудно утилизировать. Кроме того, электромобили не могут путешествовать на большие расстояния без зарядки.

В ближайшем будущем электромобили смогут полностью заменить автомобиль с двигателем внутреннего сгорания. В настоящее время крупнейшим рынком электромобилей являются крупные страны, такие как США, Япония, Китай и многие европейские страны. Если говорить о компаниях-производителях, то основное место занимают гиганты автомобилестроения, такие как Nissan, Toyota и Ford. В 2022 году мировые продажи пассажирских автомобилей, оборудованных электрифицированной силовой установкой, достигли 10,2 млн штук. Это на 65% больше результата за предыдущий год. При этом продажи электромобилей возросли во всех регионах. Китай продажи которого выросли на 72% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. Китай продает 602 000 электромобилей, что составляет половину мирового рынка. Япония зафиксировала самый высокий темп роста среди основных рынков, продажи увеличивались на 149% в год.

Китай будет крупнейшим рынком для электромобилей. Именно на китайский рынок ориентируется Toyota, которая в начале 2025 года обещает выпустить 10 новых моделей электрокаров. С 2027 года компания больше не будет выпускать ДВС без электромобилей или гибридов. Ранее об этом заявили Volvo и Jaguar. Toyota планирует продать 100 миллионов электромобилей к 2030 году, а Volkswagen уверен, что сможет достичь этой цели к 2025 году.

Существует три основных типа электромобилей: гибридные электромобили, гибридные электромобили с подключаемым модулем и аккумуляторные электромобили. Все три разновидности используют электричество для привода, но есть различия в их характеристиках, соответствующих электрических трансмиссиях и диапазонах: гибридные электромобили сочетают в себе обычный двигатель внутреннего сгорания с силовой установкой. У гибридов нет возможности подключаться и заряжаться от сети, поэтому они используют двигатели внутреннего сгорания и системы рекуперативного торможения для зарядки аккумуляторов электростанций. Гибридные электромобили лучше экономят топливо.

Самая большая разница между обычным гибридным автомобилем и подключаемым гибридным электромобилем заключается в том, что подключаемые модули имеют батареи большего размера и могут быть подключены к перезаряжаемым батареям. Подключаемые гибриды позволяют владельцам полностью работать на электричестве, когда они не опережают полностью электрические запасные части автомобиля, но при этом имеют двигатель внутреннего сгорания, когда он им нужен. В отличие от гибридных и подключаемых гибридных автомобилей, гибридные автомобили полностью питаются от батареи с полностью электрической трансмиссией. На самом деле одним из преимуществ аккумуляторных электромобилей является их простота. В аккумуляторном электромобиле так мало движущихся частей, что требуется очень мало обслуживания. Нет необходимости менять или регулировать масло.

Развитие транспорта на электромобилях сейчас рассматривается многими странами мира как средство решения существующих экологических проблем. При этом основными препятствиями для развития «зеленого» транспорта являются затраты и инфраструктура. К ключевым драйверам роста мирового рынка электромобилей эксперты относят меры правительства по поддержке спроса на экологически чистые автомобили во многих странах Европы, США и Европе. США и Китай. Российский рынок электромобилей в настоящее время не поддерживается никакими мерами государственного регулирования и стихийно растет. При этом интерес к электрификации автомобилей в России постепенно начинает расти в соответствии с мировыми тенденциями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кашикаров А.П.* Современные электромобили. Устройство, отличия, выбор для российских дорог. М.: ДМК Пресс, 2018.
2. *Карамян О.Ю.* Электромобиль и перспективы его развития / О.Ю. Карамян, К.А. Чебанов, Ж.А. Соловьева // *Фундаментальные исследования.* 2015. № 12-4. С. 693-696.
3. Электромобиль. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Электромобиль>

УДК 359:347.77

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

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, альтернативных традиционному производству, требующему огромных инвестиций и ресурсов.

Ключевые слова: производство, усовершенствование, экология, экономия

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

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

Эра двигателей внутреннего сгорания далека от заката – такого мнения придерживается большое количество, как специалистов, так и простых автолюбителей. Для такого утверждения у них имеются все основания. По большому счету, существует только два серьезных минуса двигателя внутреннего сгорания – вредный выхлоп и прожорливость. Запасы нефти не бесконечны, а автомобили – одни из основных ее потребителей. Выхлопные газы наносят вред природе и людям и, накапливаясь в атмосфере, они создают парниковый эффект. Парниковый эффект способствует изменению климата, а из этого вытекают другие экологические беды. С обоими этими недостатками инженеры и конструкторы за прошедшие последние десятилетия научились весьма эффективно бороться,

тем самым они доказали, что у двигателя внутреннего сгорания существует еще неиспользованные резервы для совершенствования и развития.

Существенное снижение расхода топлива было осуществлено благодаря интеграции в конструкцию ряда технических новшеств. Первым шагом по решению данной проблемы стал переход от карбюраторных двигателей к впрысковым. Современные системы впрыска производят подачу топливной смеси в цилиндры под высоким давлением, в результате происходит его тонкое распыление, а также хорошее смешивание с воздухом. В процессе такта сжатия топливо впрыскивается в камеру сгорания дозированными порциями до 5-7 раз. Использование увеличенного числа клапанов, наддува, повышение степени сжатия также позволили более полно сжигать рабочую смесь. Оптимизация форм камер сгорания, днища поршней, применения систем с регулируемыми фазами газораспределения способствовали улучшению процессов смесеобразования. В результате чего двигатель работает на более бедных смесях, экономит топливо и снижает выброс вредных веществ.

Также в современных автомобилях широко применяется система старт-стоп, дающая значительную экономию топлива в городском режиме движения. Такая система автоматически выключает двигатель при остановке автомобиля. Запуск двигателя производится при отпускании педали тормоза (в автомобилях с автоматической коробкой), или при нажатии на педаль сцепления (в автомобилях с механической коробкой передач).

Система рекуперации энергии торможения, впервые появилась на гибридных автомобилях, впоследствии также переключалась и на обычные автомобили. Кинетическая энергия, которая замедляет автомобиль, расходуемая на нагрев деталей тормозной системы, преобразуется в электрическую и используется для подзарядки аккумуляторной батареи. Расход топлива снижается до 3%.

Важным обстоятельством является также то, что улучшение технических характеристик двигателей внутреннего сгорания происходит при неуклонном снижении их объема. Например, фольксвагеновский мотор 1,4 TSI, признанный лучшим двигателем 2010 года, при объеме 1390 см³ развивает мощность до 178 л.с. То есть, с каждого литра снимается 127 л.с.! Удельный расход топлива за последние 20-30 лет был снижен почти в два раза. А поскольку снижается потребление топлива, снижается и выброс вредных веществ (да и запасы нефти можно растянуть на больший срок).

Вышеперечисленные меры снижают вредные выбросы косвенно, за счет улучшения технических характеристик. Но есть ряд систем, назначение которых – непосредственно уменьшать количество вредных веществ в самих выхлопных газах.

Прежде всего это каталитический система рециркуляции выхлопных газов и нейтрализатор ExhaustGasRecirculation (EGR). В нейтрализаторе вредные вещества, которые содержатся в выхлопных газах, вступают в химическую реакцию с веществами, нанесенными на его соты. В результате реакции вредные вещества разлагаются на безвредные составляющие.

Система EGR имеет более узкую направленность. Система предназначена для снижения содержания оксидов азота в выхлопных газах на режимах резкого ускорения и прогрева, когда двигатель работает на обогащенной смеси. Принцип работы данной системы состоит в перенаправлении части выхлопных газов назад в цилиндры. Это вызывает понижение температуры горения, а также концентрации оксидов азота.

При работе двигателя не все выхлопные газы попадают в выпускную систему. Часть газов прорывается в картер. Для предотвращения попадания их в атмосферу применяется система вентиляции картера. Как пары бензина, так и выхлопные газы, содержат в себе вредные для человека вещества. Поэтому на автомобилях устанавливается система поглощения паров бензина.

Все перечисленные выше системы универсальны, используются как на дизельных, так и на бензиновых двигателях. Но выхлопные газы дизеля отличаются повышенной концентрацией сажи и оксидов азота. Поэтому в выпускной системе дизельных двигателей дополнительно устанавливается сажевый фильтр. В некоторых конструкциях может применяться система Selective catalytic reduction (SCR) или, в русском переводе, впрыск мочевины. Принцип работы следующий: водный раствор мочевины впрыскивается в выхлопную систему перед катализатором. В результате химической реакции почти половина высокотоксичных оксидов азота превращается в безвредный азот.

Не стоит отрицать, что в ближайшие десятилетия человечество будет сосуществовать с двигателями внутреннего сгорания. Для этого есть весомые экономические и технические причины. Отлаженность технологии производства двигателя внутреннего сгорания обеспечивает их сравнительно низкую стоимость. Совершенствование рабочего процесса позволило достигнуть высоких характеристик и снизить вредные выбросы в окружающую среду.

Многочисленные попытки создать достойную альтернативу ДВС пока так и не увенчались успехом. Даже если вскоре появится принципиально новый двигатель, для его внедрения в серийное производство понадобятся огромные капиталовложения и большой промежуток времени.

Выбор подходящего типа двигателя зависит также от класса автомобиля. Современные бензиновые силовые агрегаты довольно эффективны в компактных автомобилях, а нынешние дизельные двигатели позволяют

достигать низкого расхода топлива. Бензиновые двигатели обеспечивают завидную преемственность и динамику спортивным автомобилям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-14 Двигатели внутреннего сгорания / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков [и др.]; под общ ред. А.А. Александров и Н.А. Иващенко. М.: Машиностроение, 2013. 784 с.
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 // AVTONOV: [сайт]. URL: <https://avtonov.info/perspektivy-dvs>

УДК 623:355.58

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ АВТОМОБИЛЯ ВАЗ

И.А. Белоцерковский, М.С. Балунув

Научный руководитель – **М.С. Балунув**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются способы повышения эффективности развития машиностроения в сфере двигателестроения.

***Ключевые слова:** производство, усовершенствование, экология, экономия*

ANALYSIS OF THE DESIGN OF THE IGNITION SYSTEM OF THE CAR VAZ

I.A. Belotserkovskiy, M.S. Balunov

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

Much attention is now being paid to the development of systems that save fuel and reduce toxic emissions. The automotive industry has been challenged to reduce the specific fuel consumption of vehicles by improving engine design, using electronic devices, and improving aerodynamics. Research has shown that electronic ignition systems reduce fuel consumption by 3 to 18 percent during vehicle operation. The scope of application of electronic systems in cars and motorcycles is constantly expanding, which allows to significantly improve the reliability and stability of engine operation, as well as to solve a number of new

***Keywords:** production, improvement, ecology, economy*

В настоящее время большое внимание уделяется разработке систем, позволяющих экономить топливо и уменьшать выбросы токсичных веществ. Перед автомобильной промышленностью поставлены серьезные задачи по снижению удельного расхода топлива автомобилями за счет совершенствования конструкции двигателей, применения электронных устройств и улучшения аэродинамики. По данным исследований с помощью электронных систем зажигания достигается экономия топлива от 3 до 18% в процессе эксплуатации автомобилей. Сфера применения

электронных систем на автомобилях и мотоциклах непрерывно расширяется, что позволяет существенно повысить надежность и стабильность работы двигателя, а также решить ряд новых функциональных задач.

Сфера применения электронных систем на автомобилях и мотоциклах непрерывно расширяется, что позволяет существенно повысить надежность и стабильность работы двигателя, а также решить ряд новых функциональных задач.

Автомобильные электронные системы усложнялись и совершенствовались по мере развития технологии полупроводниковых приборов и интегральных схем. Так, на базе больших интегральных схем были разработаны электронные системы автоматического управления двигателями и агрегатами автомобилей, в их числе информационные системы, комплексные системы управления подачей топлива, зажиганием, рециркуляцией отработавших газов, системы управления движением автомобиля. В настоящее время исследования направлены на создание систем управления двигателями и агрегатами автомобиля на базе микропроцессоров.

К системам зажигания двигателей внутреннего сгорания (далее по тексту ДВС) предъявляют следующие основные требования:

- система зажигания должна развивать напряжения, достаточные для пробояискрового промежутка свечи, обеспечивая при этом бесперебойное искрообразование на всех режимах работы двигателя;
- искра, образующаяся между электродами свечи, должна обладать достаточными энергией и продолжительностью для воспламенения рабочей смеси при всех возможных режимах работы двигателя;
- момент зажигания должен быть строго определенным и соответствовать условиям работы двигателя;
- работа всех элементов системы зажигания должна быть надежной при высоких температурах и механических нагрузках, которые возникают на двигателе, эрозия электродов свечи должна находиться в пределах допуска.

От системы зажигания зависит, насколько эффективно будет воспламеняться топливно-воздушная смесь. В случае если система зажигания будет неэффективна по тем или иным причинам, то двигатель не будет развивать требуемой мощности, экономичности и токсичности.

Целью данного исследования является проведение анализа конструкции системы зажигания автомобиля ВАЗ и разработка технологического процесса изготовления детали «Валик распределителя зажигания».

При исследовании данной работы было проведено: изучение конструкций систем зажигания, устанавливаемых на легковые автомобили, их принцип действия и выявления их преимуществ и недостатков конструкций; проведение многокритериальной оценки систем зажигания по

выбранным показателям с целью выявления идеальной; улучшение конструкции, Система зажигания данных автомобилей обладает недостаточной величиной высокого напряжения, необходимого для уверенного пуска двигателя в зимнее время года.

Проанализировав существующую конструкцию системы зажигания ВАЗ, предлагается конструктивно-технологическое усовершенствование ее первичной обмотки катушки зажигания.

Для улучшения конструкции необходимо изменить количество витков первичной обмотки катушки зажигания на большее. Это в свою очередь обеспечит по сравнению с заводской катушкой увеличение вторичного напряжения и как следствие увеличение мощности искры, необходимой для легкого воспламенения топливно-воздушной смеси в режиме пуска двигателя.

Расчетами установлено, что применение увеличенного числа витков первичной обмотки позволяет увеличить ее индуктивность с 3,7 до 4,8 мГн и, как следствие, увеличение максимального вторичного напряжения на 3254 В, что на 11,4% больше напряжения, выдаваемого катушкой зажигания с заводскими характеристиками.

Актуальность темы данной работы связана с тем, что в настоящее время автомобили отечественного производства, такие как автомобили семейства ВАЗ, пользуются широким спросом у людей с периферийных районов России, обладающие невысоким достатком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ходасевич А.Г.* Справочник по устройству и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 2. Электронные системы зажигания. М.: АНТЕЛКОМ-224 с.
2. Теория, конструкция и расчет электронных систем зажигания: учеб. пособие / сост. А.Л. Мигунов. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. 94 с.
3. Техническое руководство по обслуживанию и эксплуатации автомобиля ВАЗ-2107 с двигателями 2103, 2106, 2104i и 21067i карбюратор/инжектор. URL: <http://car-exotic.com/vaz-cars/vaz-lada-2107-auto-repair-manual.html?ysclid=lg3c0adjpr525263047>
4. Техническое руководство по обслуживанию и эксплуатации автомобиля УАЗ–3151.

УДК 359:347.77

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ВОДОРОДНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Д.Д. Баяндин, М.С. Балунув

Научный руководитель – **М.С. Балунув**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются перспективы развития транспорта на водородных двигателях, а также их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: перспективы, автомобиль, двигатель

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF CARS ON HYDROGEN ENGINES

D.D. Bayandin, 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 transport on hydrogen engines, as well as their advantages and disadvantages, are considered.

Keywords: perspectives, automobile, engine

Загрязнение атмосферы вызывает озабоченность общества, по охране окружающей среды от воздействия на неё выделяемых автомобилем газов. Достойным аналогом двигателя внутреннего сгорания являются транспортные средства на водородных двигателях и на электродвигателях.

На данный момент стоит острый вопрос, который заключается в том, что 60% электрической энергии, которая потребляется во всём мире, производится на тепловых электростанциях. Чтобы обеспечить повысившийся запрос на электричество, сжигание углеводорода увеличится в количестве. Даже полностью заменив двигатель внутреннего сгорания двигателями на электротяге, произойдет перераспределение вредных выбросов, уменьшение будет не столь велико как хотелось бы. Концентрация углекислого газа в воздухе снизится в больших городах, но вырастет в местах расположения тепловых электростанций.

В данном случае двигатели, построенные на водородной энергетике, показывают себя с лучшей стороны. Добыча водорода сопровождается микроскопическими выбросами токсичных веществ. Выхлоп автомобиля

на водороде на 99,95% состоит из чистого водяного пара, безвредного для окружающей среды. Но тут возникает другая накладка, которая носит экономический, технологический, инфраструктурный характер.

Как устроен водородный двигатель

Разработаны два типа двигателей, работающих на водороде:

- обычный двигатель внутреннего сгорания, где вместо бензина используется водород;

- с применением топливных элементов.

В первом случае используется все тот же двигатель внутреннего сгорания. Инженерные решения направлены на оптимизацию горения смеси водорода с воздухом, разработку системы питания и снижение взрывоопасности. Но данная разработка широкого распространения не получила. Водород в камере сгорания контактирует с маслом. Поэтому отработанные газы, несмотря на то что в значительно малом количестве, но содержат токсичные вещества. Помимо этого, использование таких автомобилей небезопасно, требует больших затрат.

При использовании топливных элементов автомобиль, который приводится в движение водородным двигателем, принципиально является тем же электромобилем. Разница заключается в том, что на чистой электротяге батарея заряжается от внешних источников питания, а в водородном автомобиле электроэнергия непрерывно черпается из топливных элементов.

Они состоят из двух камер, одна из которых является анодом, а другая катодом. Между ними находится мембрана. Все компоненты покрыты дорогостоящими металлами, играющими роль катализатора. В результате реакции гидролиза водород, находящийся в анодной камере, соединяясь с кислородом из атмосферного воздуха в катоде, превращается в водяной пар. Процесс сопровождается выделением свободных электронов, которые поступают в электрическую сеть автомобиля.

Такая схема значительно эффективнее, практически отсутствуют вредные выхлопы. Большая часть усилий конструкторов направлена на развитие двигателей на топливных элементах.

Преимущества и недостатки водородных двигателей

Рассмотрим основные ***достоинства***:

- 1) простота устройства, из чего вытекает надежность;
- 2) коэффициент полезного действия, который значительно превышает значения бензинового двигателя, но меньший, чем у электрического;
- 3) отсутствие шумов при работе двигателя;
- 4) малое количество вредных выбросов в окружающую среду;
- 5) высокая мощность двигателей;
- 6) расстояние, которое может проехать автомобиль на одной заправке (до 500 км).

Отметим недостатки данного двигателя:

- 1) увеличение массы автомобиля;
- 2) взрывоопасность водорода, которая возрастает при наличии неисправностей в двигателе;
- 3) высокая стоимость эксплуатации автомобиля.

Эксплуатация данного автомобиля показывает, что 1 километр пути на автомобиле с водородным двигателем минимум на 50% дороже, по сравнению с бензиновым двигателем внутреннего сгорания. Расход водорода в несколько раз меньше, чем бензина, но его цена слишком велика и не окупает этого фактора.

В этом кроется главная проблема водородной энергетики. В виде соединений с другими веществами запасы водорода безграничны, но в чистом виде его практически нет. Для его получения используется сложная технология. К этому добавляются такие проблемы, как хранение, транспортировка, создание инфраструктуры.

Для того чтобы целиком рассмотреть этот вопрос, необходимо понять цель, с которой бензиновый двигатель пытаются заменить водородным двигателем. Если речь идет о внедрении технически более совершенного двигателя, то в этом плане перспективы автомобилей на водородных двигателях почти такие же, как и у автомобилей на бензиновых двигателях. Двигатель внутреннего сгорания имеет свой минус: низкий коэффициент полезного действия.

Водородный двигатель в этом смысле более предпочтительнее, но при этом проигрывает электромобилям. С другой стороны, обогреть салон чистым электричеством невозможно: запас энергии на автомобиле ограничен. Водородные двигатели не встречаются с такими проблемами.

Если приоритетом является сохранение экологии, то здесь водородный двигатель имеет огромное преимущество.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: если получится создать производительную, экологически чистую, а самое главное экономичную технологию добычи водорода, то автомобиль на таком топливе, точно получит широкое распространение в мире. По основным эксплуатационным характеристикам он уже сейчас выигрывает у двигателя внутреннего сгорания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стуканов В.А.* Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля: Учеб. пособие. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004.
2. Водородные автомобили: есть ли у них будущее // СТАНДАРТ ОЙЛ: [сайт]. URL: <https://www.std-shell.ru/blog/article/vodorodnye-avtomobili-est-li-u-nih-budushchee/>

УДК 623.4.018

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ВОЕННОЙ ОПЕРАЦИИ

Д.К. Багаев, В.В. Гуменный

Научный руководитель – **В.В. Гуменный**, канд. пед. наук

Ярославское высшее военное училище ПВО

В статье рассмотрены вопросы об особенностях эксплуатации военной автомобильной техники при проведении специальной военной операции.

***Ключевые слова:** военная автомобильная техника, эксплуатация, обслуживание, боеготовность*

FEATURES OF OPERATION OF MILITARY VEHICLE EQUIPMENT DURING A SPECIAL MILITARY OPERATION

D.K. Bagaev, V.V. Gumenny

Scientific Supervisor – **V.V. Gumenny**, Candidate of Pedagogical
Sciences

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The article deals with questions about the features of the operation of military vehicles during a special military operation.

***Keywords:** military vehicles, operation, maintenance, combat readiness*

На сегодняшний день эксплуатация военной автомобильной техники (ВАТ) является неотъемлемой частью проведения специальной военной операции на Украине. Поддержание ВАТ в постоянной боевой готовности, а также правильность эксплуатации это одна из главных задач подразделений.

Проводя анализ эксплуатации ВАТ на Украине можно выделить ряд особенностей:

1. Особенности эксплуатации ВАТ при прохождении болотистой местности;
2. Обеспечение восстановления и ремонта образцов ВАТ на поле боя;

3. Ремонт и обеспечение боевой готовности образцов ВАТ в ремонтных пунктах при эвакуации техники с поля боя;

4. Постоянное поддержание образцов ВАТ в боевой готовности;

Новизна данного материала состоит в том, что представленные особенности являются актуальными и ранее не рассматривались.

Рассмотрим представленные особенности подробнее.

Анализируя местности на Украине, можно выделить большое количество преобладания болотистой и равнинной местности. Исходя из полученных данных можно сказать об особенностях соблюдения порядка преодоления той или иной местности. При не соблюдении данного порядка впоследствии повлияет как на мобильность образца ВАТ, так и на надежность данного образца. Рассмотрим некоторые показатели образцов ВАТ при прохождении болотистой или равнинной местности: БТР-80. Давление в колесах при прохождении равнинной местности: от 1,5 до 3 кгс/см². Давление в колесах при прохождении болотистой местности: от 0,5 до 1,5 кгс/см². Шасси КамАЗ – 4310: Давление в колесах при прохождении равнинной местности: от 3,8 до 5,6 кгс/см². Давление в колесах при прохождении болотистой местности: от 2,5 до 3,8 кгс/см². БТР-82А: Давление в колесах при прохождении равнинной местности: от 1,6 до 3,2 кгс/см². Давление в колесах при прохождении болотистой местности: от 0,4 до 1,6 кгс/см². Регулирование давления в колесах образцов ВАТ также приводит к изменению расхода топлива при прохождении определенной местности. Не стоит забывать, что показатель расхода топлива является важным при планировании марша, а также смене позиций.

От типа местности так же зависит и расход топлива на маршрут образца ВАТ, который рассчитывается по формуле

$$Q_n = \frac{H_{san} * S + H_w * W}{100} * \left(1 + \frac{D}{100}\right),$$

где Q_n – искомый расход;

H_{san} – действующие нормы расхода для пустого и груженого автомобиля;

S – расстояние преодолемого участка;

H_w – расход топлива образца ВАТ;

W – собственно, объем транспортной работы (тонно-километры), который рассчитывается, как произведение массы вооружения или оборудования установленного на образец ВАТ и расстояния его перевозки;

D – поправочный коэффициент (возрастная машина, движение по городу или трасса), может быть как выше единицы (полученный расход корректируется в сторону увеличения), так и ниже (например, когда машина 99% времени проводит на трассе с улучшенным дорожным покрытием).

Производя расчет расхода топлива на 100 км для некоторых образцов ВАТ а именно: РСЗО «Град» на шасси Урал-4320. Расход топлива при прохождении равнинной местности: до 44 л/100 км. Расход топлива при прохождении болотистой местности: до 70 л/100 км. РСЗО «Смерч» на шасси МА3-543М. Расход топлива при прохождении равнинной местности: до 100 л/100 км. Расход топлива при прохождении болотистой местности: до 125 л/100 км. РК «Искандер» на шасси МЗКТ-7930. Расход топлива при прохождении равнинной местности: до 65 л/100 км. Расход топлива при прохождении болотистой местности: до 80 л/100 км.

Актуальностью для войск ПВО является то, что обеспечение мобильности большинства техники обеспечивается за счёт колесных шасси. Например: РЛС 48Я6-К1 «Подлет» на базе КамАЗ-6350, ЗПРК «Панцирь-С1», также на КамАЗ-6350, МРЛС 92Н6Е на базе МА3-543М и другие образцы.

При рассмотрении вопросов обеспечения восстановления и ремонта образцов ВАТ на поле боя можно выделить особенность того, что для этого выделяется БРЭМ-1 (Бронированная ремонтно-эксплуатационная машина). Данный образец имеет в своем составе универсальные запасные части и инструменты для восстановления образцов ВАТ. Если процесс восстановления не возможен из-за степени повреждения ВАТ, то она эвакуируется техникой БРЭМ-1 до ремонтного батальона. Если БРЭМ-1 не выделена, то расчет образца ВАТ способен в случае легких повреждений, либо на месте произвести восстановление, либо убыть к ремонтному батальону.

Для ремонта и восстановления образцов ВАТ организуются как полевые ремонтные пункты, так и специализированные пункты ремонта техники. Данные пункты обеспечивают необходимым ЗИП для ремонта всех видов повреждений. Особенностью организации специализированных пунктов в ходе проведения СВО является их удаленность от позиций ведения боевых действий. Эвакуация поврежденных ВАТ производится до полевых пунктов, далее транспортируют до специализированных ремонтных пунктов, если восстановление на полевом пункте не возможно.

Проводя анализ данных особенностей эксплуатации ВАТ особенностями прохождения местности в зимнее время, можно выделить различия в проведении технического обслуживания, прохождения местности и восстановление техники при контакте с противником. А так же расходные материалы используемые при эксплуатации ВАТ.

Хочется отметить профессионализм расчетов эксплуатирующих образец ВАТ. Это позволяет качественно использовать образец по назначению и повысить надежность образца ВАТ. Также необходимо отметить правильность организации ремонта и восстановления образцов ВАТ в

ходе проведения СВО. За счет данных факторов потери образцов ВАТ минимальны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Подчинок В.М.* Эксплуатация военной автомобильной техники: учебник для вузов / под общ. ред. В.А. Полонского. Рязань: «Русское слово», 2006. 696 с.
2. Сводка Министерства обороны Российской Федерации о ходе проведения специальной военной операции. URL: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12454328@egNews

СЕКЦИЯ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»

УДК 620.179

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ

Е.В. Гарнышова, Е.В. Измайлова

Научный руководитель – **Е.В. Измайлова**, канд. техн. наук, доцент

Казанский государственный энергетический университет

В работе рассматривается метод конечных элементов, позволяющий решать большой круг инженерных задач (в том числе контроль трубопроводных систем), и платформа Comsol Multiphysics, которая реализует этот метод.

***Ключевые слова:** метод конечных элементов, FEM, трубопроводные системы, акустический метод неразрушающего контроля, Comsol Multiphysics*

DETERMINATION OF VIBRATION FREQUENCIES OF PIPELINE SYSTEMS BY FINITE ELEMENT MODELING

E.V. Garnyshova, E.V. Izmaylova

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

Kazan State Power Engineering University

The paper considers the finite element method, which allows solving a large range of engineering problems (including control of pipeline systems), and the Comsol Multiphysics platform, which implements this method.

***Keywords:** finite element method, FEM, pipeline systems, acoustic method of non-destructive testing, Comsol Multiphysics*

Работа большинства программ основывается на методе конечных элементов, являющемся численным методом решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Метод широко применяется для решения задач механики деформируемого твёрдо-

го тела, гидродинамики, теплообмена и электродинамики и дает возможность решить большой круг инженерных задач.

В основу акустического метода неразрушающего контроля, основанного на измерении частоты собственных колебаний, положено наличие корреляционных зависимостей между упругими константами материала, из которых изготовлено изделие, и такими физико-механическими свойствами, как твердость, пористость, плотность, прочность и т.п., а также эксплуатационными характеристиками изделий и параметрами их изготовления [1].

В процессе контроля измеряют частоты собственных колебаний изделия, соответствующих определенному виду колебаний, рассчитывают по зависимости приведенную скорость распространения акустических волн C_i и по ранее найденным корреляционным зависимостям определяют необходимые физико-механические свойства:

$$f_i = F_i \cdot C_i,$$

где f_i – частоты собственных колебаний определенного вида i ;

F_i – коэффициент формы, зависящий от формы и размера изделия, вида возбуждаемых колебаний и коэффициента Пуассона;

$C_i = (E/\rho)^{1/2}$ – приведенная скорость распространения акустических волн;

E – модуль упругости материала;

ρ – плотность.

Параметр C_i является весьма информативным параметром и в ряде случаев достаточно полно характеризует физико-механические свойства изделий, определяющие их поведение при эксплуатации.

Физический процесс, на котором основывается акустический метод диагностирования, заключается в следующем. Толщина осадка коррозионного дефекта в виде утонения стенки трубы рассматривается как мембрана, которая в соответствии с фундаментальным решением теории акустики имеет собственную частоту f_0 . По оценке диапазон частот для дефектов линейных размеров более 20 мм составляет от 500 до 5000 Гц (акустический диапазон) [2].

Силовым фактором, инициирующим вынужденные колебания рассматриваемого элемента, является пульсация давления в воде за счет работы насосов, тока воды и т.п. Эти пульсации представлены набором импульсов, имеющих различную частоту (f_k). Когда частота импульса близка или совпадает с собственной частотой дефекта ($f_k \sim f_0$), возникают резонансные колебания дефекта с излучением различных волн, которые распространяются по металлу трубы и воде.

Для успешного применения акустического метода необходимо иметь информацию о частотах колебаний годных и дефектных участков

трубопроводов. Кроме всего этого существуют акустические методы обнаружения дефектов трубопроводных конструкций. Они имеют недостатки при решении двух важных задач:

1) определение частотных диапазонов наличия нескольких очагов коррозионного поражения трубопроводов;

2) изменение информативных критериев наличия дефектов в зависимости от давления теплоносителя в системе. Раскрытие данных вопросов в работе становится возможным с помощью применения конечно-элементного моделирования.

Для моделирования и расчетов большинства научных и инженерных задач основанных на дифференциальных уравнениях в частных производных (PDE) методом конечных элементов подходит платформа COMSOL Multiphysics [3].

С этим программным пакетом расчет не требует глубокого знания математической физики и метода конечных элементов. Это возможно благодаря встроенным физическим режимам, где коэффициенты PDE задаются в виде понятных физических свойств и условий, таких как: теплопроводность, теплоемкость, коэффициент теплоотдачи, объемная мощность и т.п. в зависимости от выбранного физического раздела. Преобразование этих параметров в коэффициенты математических уравнений происходит автоматически. Взаимодействие с программой возможно стандартным способом – через графический интерфейс пользователя (GUI), либо программированием с помощью скриптов на языке COMSOL Script.

Для решения PDE, COMSOL Multiphysics использует метод конечных элементов (FEM). Программное обеспечение запускает конечно-элементный анализ вместе с сеткой учитывающей геометрическую конфигурацию тел и контролем ошибок с использованием разнообразных численных решателей. Так как многие физические законы выражаются в форме PDE, становится возможным моделировать широкий спектр научных и инженерных явлений из многих областей физики, таких как акустика, химические реакции, диффузия, электромагнетизм, гидродинамика, фильтрация, тепломассоперенос, оптика, квантовая механика, полупроводниковые устройства, сопломат и многих других.

При проектировании и строительстве трубопроводных сетей необходимо принимать во внимание факторы, связанные с распространением акустических волн по упругим трубам этих сетей. Для анализа распространения акустических волн в трубопроводных системах в рамках одномерных моделей предназначены интерфейсы *Pipe Acoustics* (рис. 1) [4].

При совместном использовании с модулем «Акустика» можно строить комбинированные трёхмерные и одномерные модели распространения акустических волн как в частотной, так и во временной областях. Интерфейс *Pressure Acoustics, Frequency Domain* предназначен для

гармонического анализа акустических волн в спокойной жидкости, а интерфейс *Pressure Acoustics, Transient* – для анализа переходных процессов.

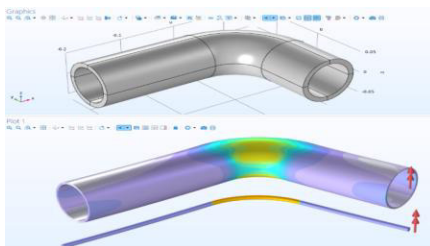


Рис. 1. Часть трубопроводной системы в ComsolMultiphysics

Узел мультифизической связи *Acoustic-Pipe Acoustic Connection*, представленный в модуле «Акустика», позволяет комбинировать интерфейсы *Pressure Acoustics* и *Pipe Acoustics* для моделирования акустических процессов в частотной и временной областях. Сопряжение осуществляется между точкой, определённой в интерфейсе акустики трубы, и поверхностью, связанной с интерфейсом аэроакустики.

Для выявления зависимости собственных частот колебаний поверхностей трубопроводных систем от толщины отложений автором планируется смоделировать часть трубопроводной системы и провести расчет частот ее колебаний без дефекта, и с разной толщиной отложений COMSOL Multiphysics.

Работа выполняется в рамках гос. задания № 075-03-2023-291/1 от 16.01.2023 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гарнышова Е.В.* Оценка толщины отложений на внутренней поверхности теплообмена по затуханию собственных колебаний / Е.В. Гарнышова, Е.В. Измайлова, Ю.В. Ваньков // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т.22, № 4. С. 106-114.
2. *Ваньков Ю.В.* Повышение энергоэффективности контролем трубопроводных систем / Ю.В. Ваньков, Е.В. Измайлова, Е.В. Гарнышова, А.Р. Загредтинов Казань: Изд-во Казанского университета, 2022. 142 с.
3. *Буркова Е.Н.* Система автоматизированных расчетов Comsol: учеб. пособие / Е.Н. Буркова, А.Н. Кондрашов, К.А. Рыбкин Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2019. 133 с.
4. Специальные методы постобработки и визуализации в ComsolMultiphysics®. Руководство. 2015. URL: https://www.comsol.jp/sc/resources/pdf-offers/COMSOL_HANDBOOK_SERIES_Essentials_of_Postprocessing_and_Visualization.ru.HR.pdf

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРЯНЫХ СТАНЦИЙ ОРТОГОНАЛЬНОГО ТИПА В РОССИИ

И.Е. Грачева, А.А. Ивнев

Научный руководитель - **А.А. Ивнев**, канд. тех. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются возможности и перспективы развития ортогональных ветряных станций на территории России.

***Ключевые слова:** энергия ветра, ортогональные станции, развитие в России*

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ORTHOGONAL WIND PLANTS IN RUSSIA

I.E. Gracheva, A.A. Ivnev

Scientific Supervisor - **A.A. Ivnev**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The possibilities and prospects for the development of orthogonal wind farms in Russia are considered.

***Keywords:** wind energy, orthogonal stations, development in Russia*

Ветроэнергетика – отрасль энергетики, специализирующаяся на преобразовании кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в электрическую, механическую, тепловую форму энергии.

Такое преобразование может осуществляться такими агрегатами, как ветро-электрогенератор (получение электрической энергии), ветряная мельница (для преобразования в механическую энергию), парус (преобразование в механическую для использования на транспорте).

Энергия ветра является возобновляемым видом энергии, она практически неисчерпаема, доступна, экологична.

Ветроэнергетика является бурно развивающейся отраслью, так в конце 2012 года мировая установленная мощность всех ветроэнергетических установок составляла 283,6 ГВт, в начале 2017 года - около 478 ГВт [1], а в 2020 году уже 800 ГВт.

Запасы энергии ветра более чем в сто раз, превышают запасы гидроэнергии всех рек планеты.

В большинстве конструкций ветроэнергетических установок для преобразования кинетической энергии ветра в механическую энергию используют принцип подъемной силы лопасти, имеющей форму крыла.

Сооружение ветряных электростанций сопряжено с некоторыми трудностями технического и экономического характера, замедляющими распространение ветроэнергетики. Это создаваемые при работе лопастей шум, инфразвуковое излучение, низкочастотные колебания и вибрации, отрицательно действующие на людей, животных и технику. Ветряные станции имеют достаточно длительный срок эксплуатации, составляющий 20-30 лет. За это время при работе множества ветрогенераторов на больших площадях возможно локальное снижение силы и изменение конфигурации ветров, изменение ландшафта и плодородия сельскохозяйственных угодий. Имеются риски, связанные с отрывом лопастей и другими авариями на ветро-электростанциях. Дополнительная проблема заключается в необходимости утилизации лопастей, исчерпавших свой ресурс: срок службы лопастей, выполненных из композитных материалов, составляет 20–25 лет и первые из построенных уже близки к выработке ресурса. Тем не менее суммарный экологический ущерб от ветроэнергетики существенно ниже по сравнению с углеводородными способами генерации энергии.

Ветровые установки могут быть классифицированы по мощности, по числу лопастей, по месту установки, по ориентации оси вращения турбины (рабочего колеса). В зависимости от направления воздушного потока по отношению к рабочему колесу различают ветроустановки с горизонтальной и вертикальной осью вращения (рис. 1).

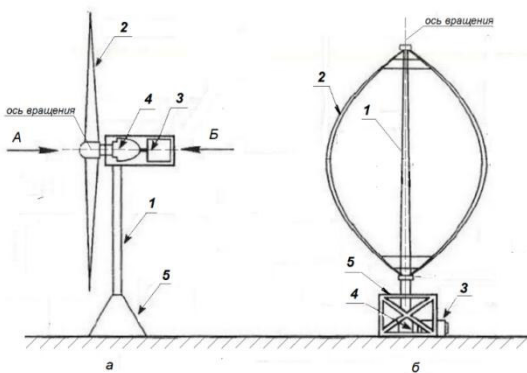


Рис. 1. Ветроустановки горизонтальные (а) и вертикальные (б):

А - наветренная ориентация «upwind», Б - подветренная ориентация «downwind»,

1 - мачта, 2 - лопасти, 3 - генератор, 4 - редуктор, 5 - основание

Ветроустановки с горизонтальной осью вращения рабочего колеса, достаточно широко используются, однако имеют существенный недостаток. В таких установках электрогенератор должен быть установлен на высокой башне (см. рис. 1), что затрудняет его обслуживание и ремонт, и вместе с другим оборудованием должен все время разворачиваться по направлению к ветру; кроме того, во время работы ему приходится выдерживать высокие переменные нагрузки из-за порывов ветра.

В ветроустановках с вертикальной (ортогональной) осью вращения электрогенератор может быть размещен вблизи поверхности земли (см. рис. 1).

Одним из распространенных типов ортогональных ветрогенераторов является ротор Дарье [2]. Принцип работы ортогональной ветроустановки (рис. 2) основан на образовании около лопастей воздушного потока, который вращает ротор за счет подъемной силы со скоростью, в 3-4 раза превышающей скорость ветра, и позволяет использовать ветер, дующий в любом направлении. Поскольку направление ветра не оказывает влияния на совершение работы, то и не требуется настройка и регулировка положения лопастей в отличие от ветрогенераторов горизонтального типа. Ортогональный ветрогенератор может быть оснащен двумя или тремя тонкими лопастями. Основным недостатком конструкции ротора Дарье заключается в том, что он не может самостоятельно начать вращение; для запуска его надо раскрутить, например, с помощью другой ветротурбины, имеющей стартовый момент вращения.

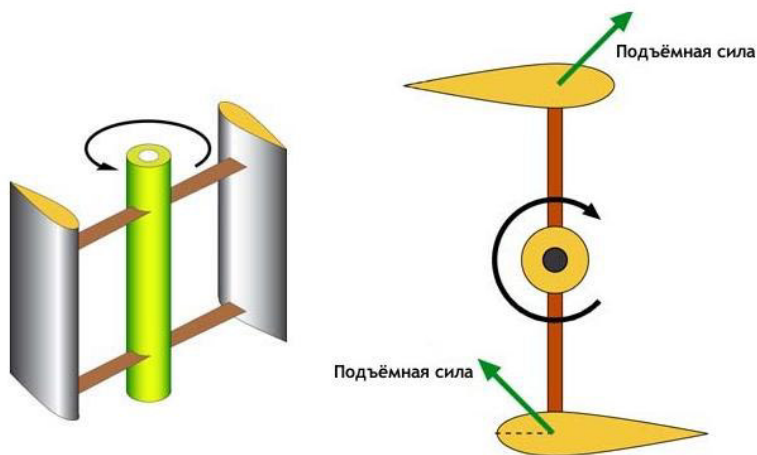


Рис. 2. Принцип работы вертикальной ветроустановки

Мощность ветроустановки зависит от скорости вращения ротора и от скорости воздушного потока: пропорциональна кубу скорости ветра и квадрату диаметра ротора; это означает, что при удвоении скорости ветра вырабатываемая мощность увеличится в 8 раз. Скорость ветра увеличивается с высотой над уровнем земли, поэтому чем выше мачта ветротурбины, тем более производительной будет ветроустановка.

Ветроэнергетические установки обычно работают при скоростях ветра от 4 до 25–30 м/с. Конструкция рабочего колеса ортогональных ветрогенераторов Дарье позволяет эффективно использовать энергию ветра: коэффициент полезного действия установки находится на уровне 38–40%, что немного уступает значению горизонтально-осевых ветрогенераторов.

Звуковой фон вертикально-ориентированных ветроустановок не превышает 20 Дб, а инфразвуковое воздействие современных выпускаемых моделей практически отсутствует [4].

Кроме того, ортогонально-ориентированные ветрогенераторы занимают меньше рабочего пространства, свободны от ряда указанных недостатков горизонтальных конструкций, могут быть изготовлены меньшего размера, чем горизонтальные установки. Они работают при любом направлении ветрового потока, доставляют минимум неудобств пользователям, при наличии аккумулирующих устройств могут стать резервным или основным источником энергообеспечения для небольших предприятий и удаленных объектов жилой инфраструктуры.

Каковы же перспективы применения вертикально-ориентированных ветровых установок в России?

Потенциал ветроэнергетического рынка в России огромен: страна обладает самыми большими в мире потенциалом энергии ветра - 16500 ТВт·ч/год [1, 3]. Однако несмотря на то, что Россия обладает высоким ветроэнергетическим потенциалом, энергия ветра практически отсутствует в энергобалансе страны, российский рынок в настоящее время не входит в список ведущих ветроэнергетических рынков.

Так, в структуре установленной мощности электростанций ЕЭС России на конец 2021 г. из общего объема 246,6 ГВт 66% электроэнергии производится на тепловых станциях и только 0,79% на ветряных электростанциях [3].

По данным Российской ассоциации ветроиндустрии (РАВИ) общее количество ветроустановок в России на конец 2021 года составляло 1162 с общей установленной мощностью 2043 МВт; в 2022 году к ним добавилось еще 95 новых установок [3].

Лидерами по получению ветровой энергии (по мощности, в 2021 году) являются Ростовская область – 609 МВт, Ставропольский край – 560 МВт, Астраханская область – 447 МВт, Краснодарский край –

373 МВт и республика Калмыкия – 290 МВт [1]. К перспективным регионам относят Камчатку и республику Крым.

В крупных ветропарках, мощность установок которых превышает 100 МВт, преобладают горизонтально-ориентированные ветрогенераторы, которые составляют около 95% всех ветроустановок, подключенных к сетям энергосистем. В то же время для маломощных объектов целесообразно применение менее затратных и более удобных в эксплуатации ортогональных установок.

В ходе исследования выявлено, что в России существует сеть крупных предприятий – производителей оборудования для ветрогенераторов (лопасти, штанги и пр.), что исключает зависимость российской ветроэнергетики от зарубежных поставщиков.

Проведенный анализ показал, что несмотря на мизерные установленные мощности существующих ветрогенераторов и наличие препятствующих факторов, ветряная энергетика в России должна развиваться более высокими темпами, в том числе и с использованием ветрогенераторов ортогонального типа, обладающих рядом преимуществ перед горизонтальными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гзенгер Ш.* Перспективы ветроэнергетического рынка России / Ш. Гзенгер, Р. Денисов. URL: <http://cluster.troitsk.ru/upload/pdf/per.pdf> (дата обращения 25.01.2023).
2. *Безруких П.П.* Ветроэнергетика: Справочно-методическое издание / П.П. Безруких, П.П. Безруких (мл.), С.В. Грибков; под общ. ред. П.П. Безруких. М.: ИнтехэнергоИздат, Теплоэнергетик, 2014. 304 с.
3. Ветроэнергетический рынок России: отчет РАВИ, февраль 2022. URL: <http://cluster.troitsk.ru/upload/pdf/per.pdf> (дата обращения 25.01.2023).
4. *Азимов Т.А.* Ветроэнергетика в России: анализ актуальности и перспективы развития / Т.А. Азимов, Л.Ю. Безнощук // Молодой ученый. 2017. № 10 (144).

УДК 621.43

АДАПТАЦИЯ ФОРСУНКИ ЯМЗ-236, 238 ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АВАРИЙНОМ ВОДОГРЕЙНОМ КОТЛЕ

И.Е. Грачева, Д.В. Федорова

Научный руководитель – **Д.В. Федорова**, старший преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается применение топливной форсунки для промышленного дизельного котла при постоянной работе.

***Ключевые слова:** адаптация, проектирование, форсунка топливная, дизельная установка, конструирование*

ADAPTATION OF THE YAMZ-236, 238 NOZZLE FOR USE IN EMERGENCY HOT WATER BOILER

I.E. Gracheva, D.V. Fedorova

Scientific Supervisor – **D.V. Fedorova**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University, Russia, Yaroslavl

Consideration is given to the use of a fuel injector for an industrial diesel boiler during continuous operation.

***Keywords:** adaptation, design, fuel injector, diesel plant, design*

Форсунка топливная как элемент энергетики может быть использована в промышленных печах и котлах, работающих на дизельном и печном топливе. Для огромного количества котельного оборудования прекратились поставки комплектующих и узлов с началом СВО, в частности ощутимой проблемой является поиск форсунок для подачи и распыливания топлива в камеру сгорания промышленных дизельных котлов (рис. 1).

В рамках настоящего проекта предлагается адаптировать форсунку дизеля для работы в камере сгорания котла. Форсунки дизеля обусловлены высокой термомеханической прочностью, надежностью, доступностью.

Общий вид конструкции форсунки ЯМЗ-236 включает в себя корпус, колпачок, штуцер и шток, регулировочный винт, иглу, распылитель

(рис. 2). Форсунка устанавливается в камере сгорания котла, подача топлива ведется от топливного насоса.



Рис. 1. Промышленный дизельный котел Viessmann Vitorondes 200-T 68 кВт

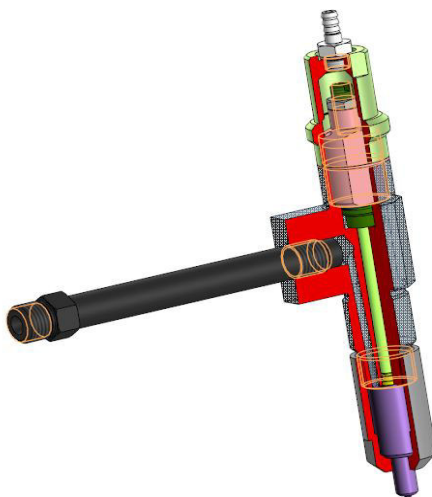


Рис. 2. Общий вид конструкции форсунки (3D-модель)

Достоинством таких форсунок (см. рис. 2) является ремонтпригодность, они менее чувствительны к качеству топлива, доступность. При использовании такой конструкции есть ряд недостатков, так как типовая конструкция форсунки используется для пульсирующей работы. Например, при изменении давления топлива нет сохранения идентичности распыливания жидкого топлива и как следствие потери его при сжигании из-за его недогорания при смесеобразовании с воздухом.

Для использования при постоянной работе котла модернизирована конструкция типового распылителя (рис. 3) - добавлены радиально расположенные отверстия диаметром 0,32 мм (рис. 4).

Производительность увеличивается до 10 кг/ч. Материал распылителя жаростойкая хромоникелевая сталь 12Х18Н10Т.

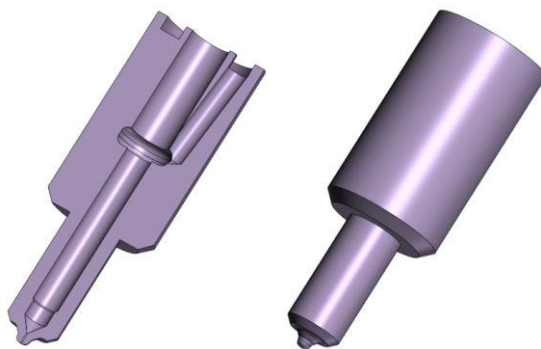


Рис. 3. Конструкция распылителя до изменения

Доработка конструкции иглы распылителя заключается в добавлении радиально расположенных отверстий, улучшающих качество распыляемого факела (см. рис. 4).

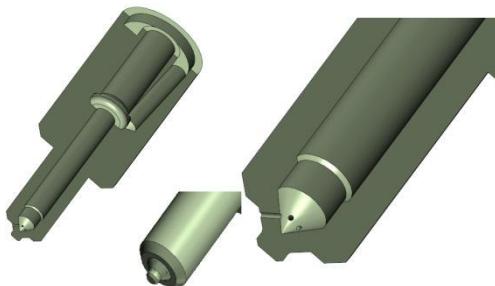


Рис. 4. Конструкция распылителя после изменения

Возможность охлаждения топливом распылителя, постоянство расхода и плавность регулирования благодаря кольцевому каналу на игле подвода топлива (рис. 5).

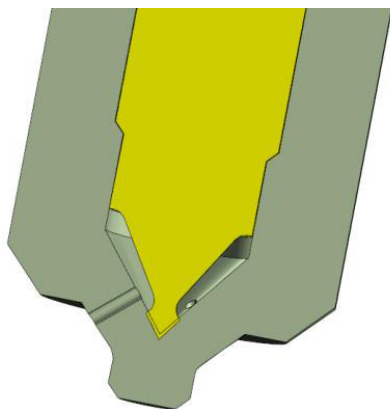


Рис. 5. Фрагмент сборки (Распылитель/Игла)

Таким образом создается сбалансированная система, обеспечивающая постоянство подачи топлива в необходимом количестве в систему отопления дизельным промышленным котлом.

УДК 621.432

АНАЛИЗ ЧАСТОТ И ФОРМ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА V-ОБРАЗНОГО 8-ЦИЛИНДРОВОГО ДИЗЕЛЯ

А.Я. Горшков, А.А. Павлов

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

Ярославский государственный технический университет

В работе решается задача по определению частот и форм собственных колебаний дизеля. Расчетom установлены частоты и формы собственных колебаний коленчатого вала. Выявлены режимы работы дизеля, при которых возможны резонансные режимы.

***Ключевые слова:** коленчатый вал, кривошип, носок коленчатого вала, изгиб, возникновение резонанса*

FREQUENCY ANALYSIS AND FORMS OF FREE OSCILLATIONS OF THE CRANKSHAFT V-SHAPED 8-CYLINDER DIESEL

A.Y. Gorshkov, A.A. Pavlov

Scientific Supervisor – **A.A. Pavlov**, Doctor of Technical Sciences,
professor

Yaroslavl State Technical University

The paper solves the problem of determining the frequencies and modes of natural oscillations of a diesel engine. The frequencies and forms of natural vibrations of the crankshaft are established by calculation. The operating modes of a diesel engine, under which resonant modes are possible, are revealed.

***Keywords:** crankshaft, crank, crankshaft toe, bending, resonance occurrence.*

В настоящей статье рассматриваются результаты расчетного исследования, выполненного в рамках работы по проектированию 8-цилиндрового V-образного дизельного двигателя, имеющего обозначение по ГОСТ 10150-2014 8ЧН14/15. В расчетном исследовании выполняется расчет и анализ частот и форм собственных колебаний коленчатого вала данного двигателя. Исследуемый коленчатый вал полноопорный, содержит четыре кривошипа, расположенных под углом 90 градусов, без

противовесов, с эллиптической формой щек. Конструктивные параметры коленчатого вала:

- диаметр коренных шеек – 117 мм;
- диаметр шатунных шеек – 90 мм;
- длина шатунной шейки – 62 мм;
- длина коренной шейки – 64 мм;
- ширина щеки – 25 мм.

Трехмерная модель коленчатого вала, созданная автором в среде программы Компас 3D представлена на рис. 1.

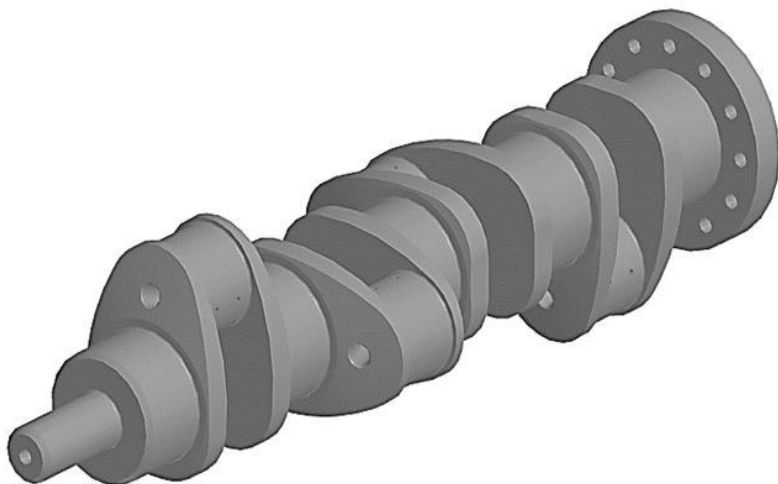


Рис. 1. Изометрия коленчатого вала двигателя 8ЧН14/15

Расчет частот и форм собственных колебаний выполняется в среде программы АПИМ Studio. Особенностью расчета форм и частот собственных колебаний коленчатого вала, является фиксирование коренных шеек от радиального и осевого перемещения, а также к первой коренной шейке прикладывается угловая скорость 230 1/с (что соответствует частоте вращения коленчатого вала 2200 1/мин).

Результаты расчета 12 форм колебания представлены в таблице 1 и на рис. 2-4, для 4-й, 7-й и 11-й форм колебаний соответственно. Частота колебаний 4-й, 7-й, 11-й форм колебаний кратна частоте вращения коленчатого вала, поэтому они выделены особо.

Таблица 1. Расчет частот собственных колебаний коленчатого вала

№	l/c	Гц	c	м.м X(%)	с.м.м X(%)	м.м Y (%)	с.м.м Y (%)	м.м Z (%)	с.м.м Z (%)
1	174,655	21,972	0,0359	0,00000498	4,98E-06	0,205	0,205	0,00000315	0,0000031
2	4061,7	646,44	0,00154	0,0016	0,0016	85,6	65,8	0,255	0,225
3	6177,5	983,124	0,001017	3,31	3,31	0,0167	85,8	0,485	0,69
4	11888,4	1888,92	0,000529	0,0206	3,33	6,58	72,4	0,141	0,831
5	12323,2	1961,3	0,00509	0,405	3,73	1,23	73,6	0,0759	0,907
6	17628,1	2805,6	0,000356	0,00634	3,74	0,798	74,4	0,929	1,84
7	18032,8	2870,02	0,000348	0,319	4,06	0,00143	74,4	0,739	2,63
8	18675,4	2972,3	0,000336	0,619	4,68	0,0527	74,5	0,864	3,3
9	19333,5	3077,02	0,000324	0,00375	4,68	0,707	75,2	1,72	5,01
10	23836,5	3793,7	0,000263	0,0326	4,72	0,323	75,5	0,836	5,85
11	24787	3944,8	0,000253	0,763	5,48	0,189	75,7	0,27	6,12
12	30007,1	4775,8	0,000209	2,98	8,46	0,0121	75,7	3,48	9,6

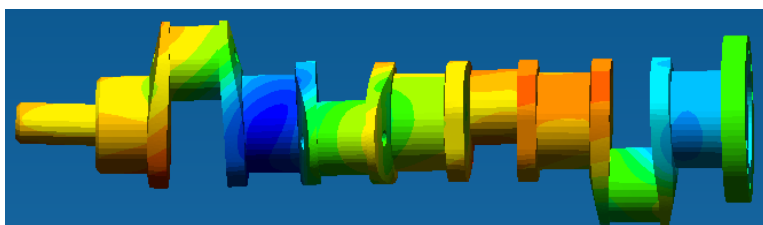


Рис. 2. Визуализация четвертой формы свободных колебаний коленчатого вала

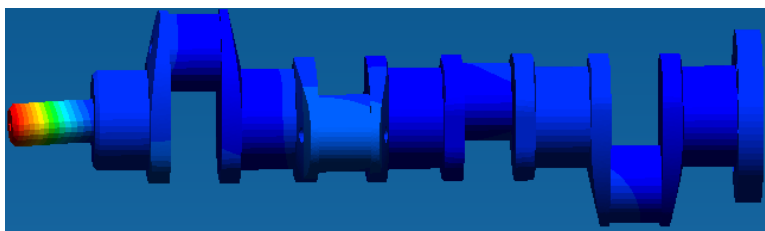


Рис. 3. Визуализация седьмой формы свободных колебаний коленчатого вала

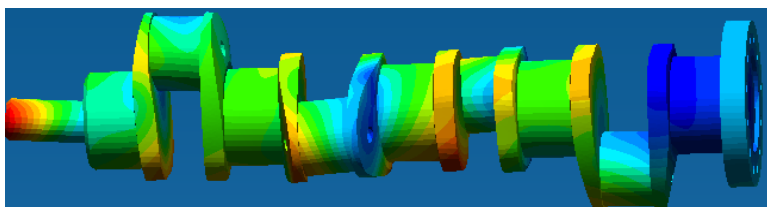


Рис. 4. Визуализация одиннадцатой формы свободных колебаний коленчатого вала

На визуализации 4-й формы колебаний, изображенной на рис. 3, установлен прогиб шатунных шеек и щек кривошипов коленчатого вала. Частота колебаний 4-й формы составляет 1888,92 Гц. 7-я форма колебаний имеет частоту 2870,02 Гц и представляет собой изгиб носка коленчатого вала. 11-я форма колебаний имеет частоту 3944,8 Гц, соответствует изгибу шатунных шеек второго и третьего кривошипов коленчатого вала, изгибу щек кривошипов, а также прогибу носка.

Выводы.

1. Выполнен расчет частот и форм свободных колебаний коленчатого вала.

2. Установлены формы колебаний кратные частоте вращения коленчатого вала, в которых возможно возникновение резонанса. Резонансными являются 4-я, 7-я, 11-я формы колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чайнов Н.Д.* Конструирование двигателей внутреннего сгорания / Н.Д. Чайнов, Н.А. Ивашенко, А.Н. Краснокутский, Л.Л. Мягков. М.: Машиностроение, 2008. 496 с.

УДК 621.432

РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА 10-ЦИЛИНДРОВОГО V-ОБРАЗНОГО ДИЗЕЛЯ

А.А. Давыдов, А.А. Павлов

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

Ярославский государственный технический университет

В работе задача по исследованию рабочего процесса промышленного дизеля и его соответствия экологическим нормам. Расчетom установлены характеристики рабочего процесса, которые можно проанализировать и привести сравнение с нормативными значениями.

***Ключевые слова:** рабочий процесс, экология, твердые частицы, нормативные значения*

COMPUTATIONAL ANALYSIS OF THE WORKING PROCESS OF A 10-CYLINDER V-SHAPED DIESEL ENGINE

A.A. Davydov, A.A. Pavlov

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

Yaroslavl State Technical University

In this paper, the task is to study the working process of an industrial diesel engine and its compliance with environmental standards. The calculation established the characteristics of the workflow, which can be analyzed and compared with the normative values.

***Keywords:** workflow, ecology, solid particles, normative values*

В настоящей статье рассматривается расчетное исследование рабочего процесса проектируемого 10-цилиндрового V-образного промышленного дизеля, имеющего обозначение по ГОСТ 10150-2014 10ЧН13/14, с заданной мощностью 490 кВт.

Целью исследования является определение: индикаторных и эффективных показателей дизеля; содержание токсичных компонентов в отработанных газах; анализ содержания токсичных компонентов на предмет их сравнения с нормативными значениями по ГОСТ 33754-2016;

определение целесообразности применения системы рециркуляции отработанных газов для достижения требований по содержанию оксидов азота в отработанных газах.

Расчетное исследование рабочего процесса дизеля выполняется в компьютерной программе «ДИЗЕЛЬ-РК», учитывающий: частоту вращения коленчатого вала, ход поршня и диаметр цилиндра, степень сжатия, наддув, параметры механизма газораспределения (фазы газораспределения, диаметры и ход клапанов, количество клапанов), форму камеры сгорания, параметры процесса впрыска и распыливания топлива.

Итоговые результаты исследования рабочего процесса дизеля представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Мощностные и эффективные показатели

Частота вращения коленчатого вала, 1/мин	2200.0
Мощность, кВт	488.58
Среднее эффективное давление, бар	14.341
Крутящий момент, Нм	2120.9
Цикловая подача топлива, г	0.15847
Удельный эффект. расход топлива, кг/(кВт·ч)	0.21407
Давление перед впускным коллектором, бар	2.4000
Расход воздуха через цилиндры двигателя, кг/с	0.83882
Коэффициент избытка воздуха при сгорании	2.0000
Максимальное давление цикла, бар	139.39
Макс. давление перед соплами распылителя, бар	1558.6
Число сопловых отверстий форсунки	7.0000
Диаметр сопловых отверстий форсунки, мм	0.21000
Продолжит. впрыска для зад. хар. впрыска, град	30.000
Начало выпуска, град. до НМТ (ВПуск. вала)	66.000
Конец выпуска, град. за хМТ (ВПуск. вала)	20.000
Начало впуска, град. до хМТ (ВПуск. вала)	20.000
Конец впуска, град. за НМТ (ВПуск. вала)	40.000

Таблица 2. Расчетные и нормативные показатели

Параметры токсичности	Расчетные значения	Нормативные значения
Натур. показат. ослаблен. светового потока, 1/м	0,07	1,52
Эмиссия твердых частиц, г/(кВт·ч)	0,05	0,15
Эмиссия NO _x привед. к NO, г/(кВт*ч)	5,90	4,00

Анализ данных, приведенных в таблице 2, показывает, что выбросы токсичных веществ промышленного 10-цилиндрового V-образного дизеля в части эмиссии твердых части и дымности соответствуют нормативным требованиям. А расчетные значения выбросов оксидов азота превышают установленные нормативные требования. Вполне очевидно, что для достижения характеристик по выбросам оксидов азота необходимо предложить применение на дизеле системы рециркуляции отработанных газов.

Выводы.

1. Расчетом определены индикаторные и эффективные показатели дизеля.
2. Определено содержание токсичных компонентов в отработанных газах. Выбросы твердых частиц и дымность соответствует нормативным требованиям. Выбросы оксидов азота превышают значения нормативных требований.
3. Для выполнения требований по выбросам оксидов азота предложено использовать систему рециркуляции отработанных газов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программный комплекс ДИЗЕЛЬ-ПК: официальный сайт. URL: <https://diesel-rk.com/Rus/index.php?page=Download> (дата обращения 16.03.2023).
2. ГОСТ 33754-2016. Выбросы вредных веществ и дымность отработанных газов автономного тягового и моторвагонного подвижного состава. Нормы и методы определения: межгосударственный стандарт: дата введения 01.07.2017 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Изд. официальное. М.: Стандартинформ, 2017. 68 с.

**МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМОБИЛЯ УРАЛ-375
ПУТЕМ РЕМОТОРИЗАЦИИ ПРИ УСТАНОВКЕ
ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ**

А.А., Давыдов, Д.В. Карманов, А.А. Павлов, Д.В. Федорова

Научные руководители – **А.А. Павлов**, канд. техн. наук, доцент,
Д.В. Федорова, старший преподаватель

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматривается вариант модернизации картера сцепления автомобиля Урал 375 посредством изменения конструкции фланца.

***Ключевые слова:** двигатель, картер сцепления, модернизация, конструкторская деятельность, трехмерная модель, нормы ЕСКД*

**MODERNIZATION OF THE CAR URAL-375
BY REMOTORIZATION WHEN INSTALLING
A GAS ENGINE**

A.A. Davydov, D.V. Karmanov, A.A. Pavlov, D.V. Fedorova

Scientific Supervisors – **A.A. Pavlov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor; **D.V. Fedorova**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University, Russia, Yaroslavl

The article discusses the option of upgrading the clutch housing of the car Ural-375 by changing the design of the flange.

***Keywords:** engine, clutch housing, modernization, design activity, 3D model, ESKD standards*

Урал-375 полноприводный автомобиль, выпускаемый в СССР, используемый в ВС РФ, народном хозяйстве (рис. 1).

Автомобиль был снят с производства в 1964 году. Особенностью является его оснащение бензиновым V-образным 8-цилиндровым карбюраторным двигателем ЗИЛ-735 мощностью 180 л.с. (посмотреть) и коробкой переменных передач ЯАЗ-204. Автомобиль экспортировался во многие страны мира. В результате в настоящее время за рубежом, особенно в странах с сухим жарким жарким климатом, сохранилось значи-

тельное количество Урал-375. К настоящему времени автомобиль, имеющий уникальные характеристики устарел по причине несоответствия его двигателя современным требованиям.

Однако, если предусмотреть установку современного двигателя, то жизненный цикл автомобиля может быть продлен, а сам Урал-375 будет выполнять требуемые задачи. Вышесказанное определяет актуальность модернизация автомобиля. При модернизации предлагается использовать новый двигатель ЯМЗ-534 CNG, который должен соединяться со штатной коробкой переменных передач ЯАЗ-204.

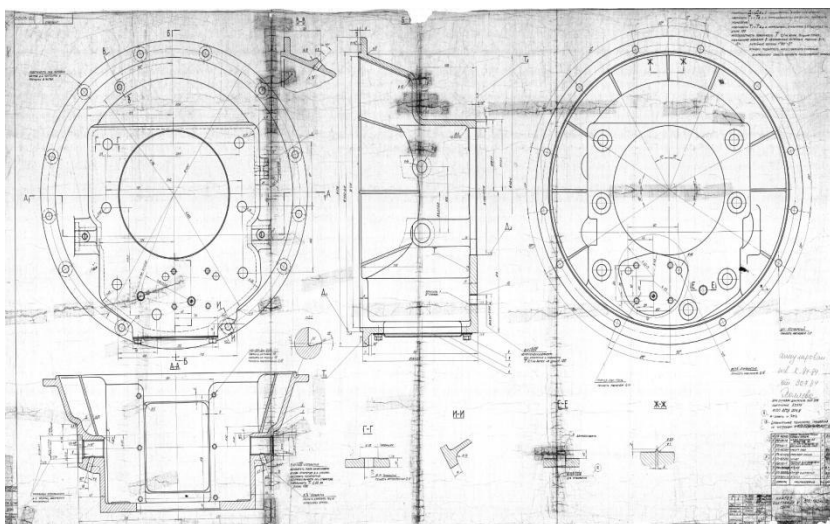


Рис. 1. Типовая конструкция картера сцепления

Двигатель ЯМЗ-534 CNG газовый с электронным управлением, отвечающий классу euro 5, выпускается ПАО Автодизель. Анализ конструкции двигателя, КПП выявил, что для их соединения необходимо изменить конструкцию картера сцепления (см. рис. 1), в части соединительного фланца.

В результате работы был разработан новый картер сцепления с фланцем, позволяющим состыковать двигатель ЯМЗ-534 CNG и коробку переменных передач.

Создана трехмерная модель картера сцепления (рис. 2), на основе которой в соответствии с требованиями ЕСКД разработан чертеж картера (рис. 3) сцепления. На основе документации изготовлен картер сцепления.

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ШАТУНА
ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Д.В. Карманов, А.А. Павлов

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

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается расчет и формы потери устойчивости шатуна дизельного двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: шатун, потеря устойчивости, метод конечных элементов

**INVESTIGATION OF THE STABILITY
OF THE CONNECTING ROD OF AN INTERNAL
COMBUSTION ENGINE BY THE FINITE ELEMENT METHOD**

D.V. Karmanov, A.A. Pavlov

Scientific Supervisor – **A.A. Pavlov**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

The subject is calculation and forms of the loss of stability of the connecting rod of a diesel internal combustion engine are considered.

Keywords: connecting rod, loss of stability, finite element method

Одним из наиболее распространенных дефектов шатунов двигателей является потеря им устойчивости. Причина потери устойчивости шатунов может быть, как ошибка конструирования (что должно быть исключено в ходе опытно-конструкторских работ), так и сопутствующие дефекты эксплуатационного характера (возникают наиболее часто). Для исключения ошибок проектирования шатуна в части потери им устойчивости на этапе создания двигателей требуются расчетные исследования, выполнение которых и определяет актуальность настоящей работы.

Шатун, являющийся объектом исследования в рамках настоящей работы предназначен для проектируемого рядного шестицилиндрового дизеля, имеющего характеристики, приведенные в таблице 1.

Решение задачи по устойчивости шатуна решается для сборки шатуна с его крышкой в контактной постановке. В качестве силовых и кинематических граничных условий используются:

- газовая сила, приложенная к поршневой головке;
- закрепление по всем степеням свободы верхнего полукольца кривошипной головки.

Расчетная модель шатуна с крышкой и приложенными граничными условиями приведена на рис. 3.

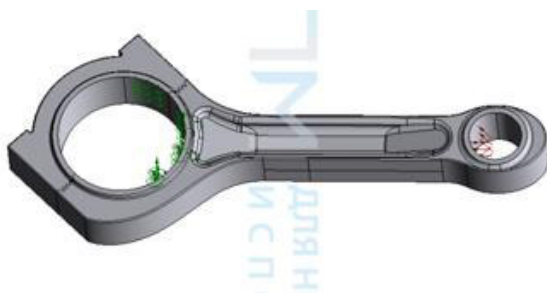


Рис. 3. Закрепления и силы, действующие на шатун

Конечно-элементная модель шатуна (рис. 4) содержит 94125 конечных элементов типа 10-узловой тетраэдр.



Рис. 4. Конечно-элементная сетка шатуна

В рамках исследования определялись пять форм потери устойчивости шатуна. Результаты исследования приведены в таблице 2.

Таблица 2. Коэффициенты запаса потери устойчивости

№ формы	Мультипликативный коэффициент
1	0.0097554
2	0.00978217
3	0.00979096
4	0.0102265
5	0.0102396

В качестве примера на рис. 5 приведена первая форма потери устойчивости шатуна.



Рис. 5. Первая форма потери устойчивости

По результатам расчетного исследования (см. табл. 2) видно, что предварительно разработанный шатун не подходит для использования в проектируемом дизеле по причине невыполнения условия $n_{уст} > 1$. Для выполнения условий сохранения устойчивости шатуном, по всей видимости, необходимо уменьшить максимальное давление сгорания или усилить стержень шатуна.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СБОРКИ КШМ V-ОБРАЗНОГО 12-ЦИЛИНДРОВОГО ДИЗЕЛЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГАЗОВОЙ СИЛЫ

Г.Д. Софронов, А.А. Павлов

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

Ярославский государственный технический университет

В работе решается задача по определению напряжений и перемещений сборки КШМ дизеля. Расчетom установлены напряжений и перемещений сборки под действием газовой силы на поршень. Выявлены зоны напряжений, возникающие при работе дизеля.

Ключевые слова: поршень, кривошип, шатун, изгиб, газовая сила, напряжения кривошипно-шатунного механизма

ANALYSIS OF STRESSES AND DISPLACEMENTS OF THE ASSEMBLY OF A KSM V-SHAPED 12-CYLINDER DIESEL ENGINE UNDER THE ACTION OF GAS FORCE

G.D. Sofronov, A.A. Pavlov

Scientific Supervisor – **A.A. Pavlov**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper solves the problem of determining the stresses and displacements of the assembly of the crank mechanism of a diesel engine. The calculation of the stresses and displacements of the assembly under the action of gas force on the piston. Stress zones arising during the operation of the diesel engine are revealed.

Keywords: piston, crank, connecting rod, bending, gas force, crank mechanism tension

В настоящей статье рассматриваются результаты расчетного исследования, выполненного в рамках работы по проектированию 12-цилиндрового V-образного дизельного двигателя, имеющего обозначение по ГОСТ 10150-2014 12ЧН13/15. В расчетном исследовании выполняется расчет и анализ напряжений, перемещений, возникающих в

сборке кривошипно-шатунного механизма двигателя. Исследуемая сборка состоит из поршня, поршневого пальца, шатуна, шатунных вкладышей и кривошипа коленчатого вала.

Материалы сборки:

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| - кривошип | – Сталь 40Х; |
| - шатун | – Сталь 30ХГСА; |
| - палец | – Сталь 15Х; |
| - поршень | – АЛ2; |
| - шатунные вкладыши – | БрБ2. |

Трехмерная модель сборки, созданная автором в среде программы АПМ Studio, представлена на рис. 1.



Рис. 1. Изометрия сборки в среде АПМ Studio с приложенной газовой силой

Расчет напряжений и перемещений выполняется в среде программы АПМ Studio с использованием метода конечных элементов. Особенностью расчета напряжений и перемещений сборки, является фиксирование коренной шейки кривошипа по всем степеням свободы, а также к днищу поршня прикладывается давление величиной $12,5 \text{ Н/мм}^2$.

Для упрощения решения задачи автором выполнен разрез единичного КШМа вдоль плоскости симметрии, расчет выполняется на одной из частей сборки.

Полученная конечно-элементная сетка сборки представлена на рис. 2.



Рис. 2. Конечно-элементная сетка сборки КШМ

Полученные в результате расчетов карты напряжений и перемещений сборки представлены на рис. 3 и 4.

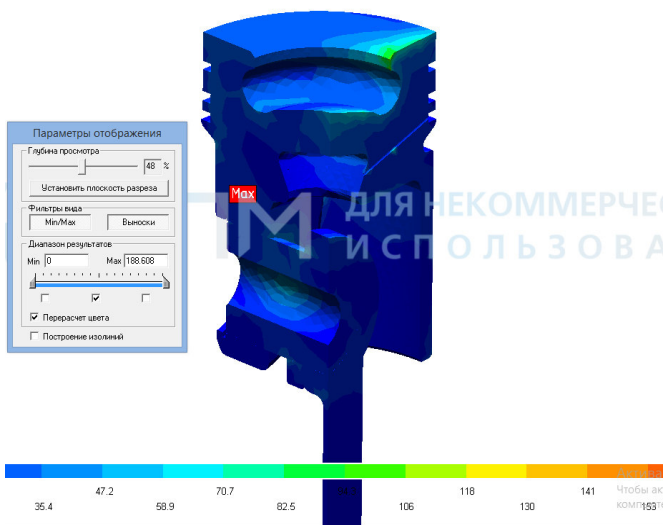


Рис. 3. Визуализация напряжений сборки под действием газовой силы

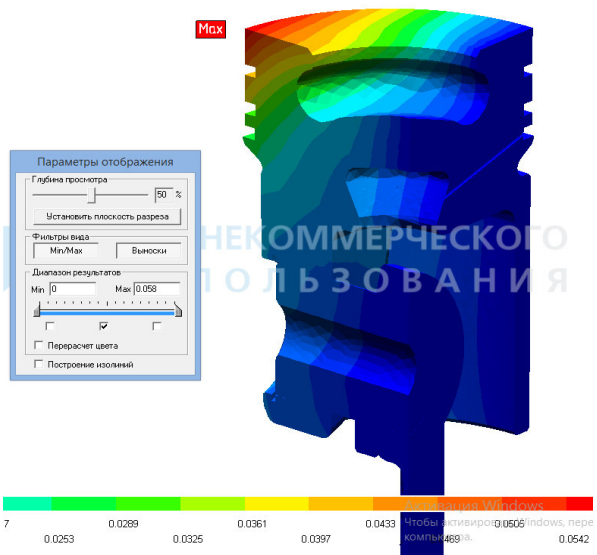


Рис. 4. Визуализация перемещений сборки под действием газовой силы

На визуализации напряжений можно выделить две зоны повышенных напряжений: область сужения поршня у камеры сгорания, где напряжения вызваны концентратором (тонкой кромкой), а также зона поршневого пальца, где возникают напряжения среза и изгиба при сжатии сборки максимальным давлением газов в цилиндре.

Наибольшие перемещения в сборке приходятся на днище поршня – непосредственно на него воздействует давление газов.

Выводы:

1. Выполнен расчет напряжений и перемещений сборки КШМ в среде программы АПМ Studio с использованием метода конечных элементов.

2. Получены карты (визуализация) напряжений и перемещений сборки КШМ. Установлено что наибольшие напряжения и перемещения возникают в теле поршня, в непосредственной близости от его днища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чайнов Н.Д.* Конструирование двигателей внутреннего сгорания / Н.Д. Чайнов, Н.А. Иващенко, А.Н. Краснокутский, Л.Л. Мягков. М.: Машиностроение, 2008. 496 с.

О РАСТВОРИМОСТИ КАРБОКСИЛСОДЕРЖАЩЕГО СОПОЛИМЕРА

**Н.С. Лешукова¹, А.Е. Косинова², В.Н. Преснухина²,
А.В. Комин²**

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

¹АО "Татхимфармпрепараты"

²Ярославский государственный технический университет

В работе определена растворимость карбоксилсодержащего, карбоцепного сополимера непредельной карбоновой кислоты и неполярного сомономера в органических средах, характеризующихся различными значениями параметров растворимости.

***Ключевые слова:** растворимость, раствор, параметр растворимости, карбоксилсодержащий сополимер*

ON THE SOLUBILITY OF A CARBOXYL-CONTAINING COPOLYMER

N.S. Leshukova¹, A.E. Kosinova², V.N. Presnukhina², A.V. Komin²

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

¹JSC "Tatchempharmpreparaty"

²Yaroslavl State Technical University

The solubility of a carboxyl-containing, carbon-chain copolymer of unsaturated carboxylic acid and a nonpolar comonomer in organic environments characterized by different values of solubility parameters is determined.

***Keywords:** solubility, solution, solubility parameter, carboxyl-containing copolymer*

Карбоксилсодержащие синтетические сополимеры с каждым годом привлекают все больше внимания ученых и практиков. Особое место занимают карбоксилсодержащие сополимеры непредельных карбоновых кислот с неполярными и малополярными сомономерами. Наличие в составе таких сополимеров карбоксильных групп, наряду со звеньями малополярных или неполярных сомономеров, обеспечивают им ряд цен-

ных свойств. Например, наличие в составе бутадиен-нитрильных сополимеров карбоксильных групп обеспечивает возможность их вулканизации оксидами металлов при получении резин [1], латексы бутадиенстирольных, карбоксилсодержащих сополимеров являются хорошими модификаторами асфальта [2], цемента [3]. Сополимеры метакриловой кислоты с метилметакрилатом под торговыми названиями (Eudragit L 100, Eudragit L100-55) и сополимер метилвинилового эфира и малеиновой кислоты марки (Gantrez S-97) широко применяются в составе твердых лекарственных форм, в частности для формирования покрытий твердых лекарственных форм. Кроме этого, сополимеры метакриловой и акриловой кислот с их эфирами используют в составе косметической композиции для укладки волос, а калиевые, натриевые соли карбоксилсодержащих сополимеров находят применение в качестве ПАВ, например в процессах синтеза полимеров.

Большинство процессов синтеза сополимеров и их исследования предполагает образование растворов. Кроме этого, полимеры в растворах используют для создания полимерных пленок, в клеевых композициях, в процессах микрокапсулирования лекарственных веществ. От применяемого растворителя зависят не только физико-химические характеристики раствора, но и технологические, а также, нередко, свойства продукта, например формируемой пленки. В качестве растворителей применяют органические вещества, воду для высокополярных полимеров, смеси органических веществ, водно-органические смеси. Эмпирический выбор растворителя довольно трудоемкая задача, особенно в случае смесевых растворителей. В настоящее время существуют методы, позволяющие расчетным путем предсказать возможность растворения полимера в низкомолекулярной жидкости. Это позволяет значительно сэкономить трудовые и финансовые затраты на поиск подходящего растворителя. Для прогнозирования растворимости полимеров в той или иной низкомолекулярной жидкости или их смесях сравнивают параметры растворимости полимера и предполагаемого растворителя. Чем ближе друг к другу значения параметров растворимости полимера и растворителя, тем больше вероятность растворения. Параметр растворимости равен квадратному корню из плотности энергии когезии. Существуют методы, позволяющие на основе информации о молекулярном строении сополимера рассчитать его параметр растворимости. К таким следует отнести методы: Аскадского, Смолла, Гильдебранда, Хоя, Хофтизера-Ван Кревелена. Однако, получаемые значения параметра растворимости по каждому из методов могут отличаться, а точность расчета не превышает 10% [4]. К недостаткам указанных расчетных методов, по нашему мнению относится то, что они не учитывают возможную композиционную неоднородность по составу сополимеров, обусловленную, например, различием активностей

сомономеров в процессе их сополимеризации при получении сополимеров. Вместе с этим, реальные продукты сополимеризации характеризуются в большей или меньшей степени композиционной неоднородностью по составу, причем последняя возрастает с увеличением разности в активностях сомономеров в процессе сополимеризации. Поэтому, наиболее точные значения параметра растворимости сополимера могут быть получены экспериментальными методами. Параметр растворимости принимают равным параметру растворимости жидкости, которая является для полимера лучшим растворителем. Лучшим считается растворитель, в котором характеристическая вязкость или степень набухания полимера максимальны [5]. Однако, прежде чем ставить вопрос о качестве растворителя необходимо определить ряд веществ или смесей веществ, растворяющих (со)полимер, т.е. являющихся растворителями. Предполагая определение параметра растворимости сополимера, требования к потенциальным кандидатам в растворители не должны ограничиваться лишь тем, чтобы они растворяли полимер, а также должны характеризоваться различными значениями параметров растворимости. В настоящее время в научной, учебной и патентной литературе отсутствует информация о растворимости и параметре растворимости карбоксилсодержащих, карбоцепных, алифатических сополимеров неопредельной карбоновой кислоты и неполярного сомономера, что ограничивает возможность создания продуктов с высоковостребованными прикладными характеристиками.

В связи с этим, целью настоящей работы явилось определение растворимости карбоксилсодержащего, карбоцепного, алифатического сополимера неопредельной карбоновой кислоты и неполярного сомономера в органических средах.

В качестве объекта исследования выбран сополимер неопредельной карбоновой кислоты и неполярного сомономера с содержанием карбоксилсодержащих звеньев 72 мас.%. Сополимер получали методом радикальной сополимеризации в растворе 1,4-диоксана. Сополимер из реакционной смеси выделяли осадителем, сушили до постоянной массы под вакуумом. Кислотное число определяли методом потенциометрического титрования спиртовым раствором гидроксида калия. Для изучения растворимости сополимера использовали органические низкомолекулярные жидкости, характеризующиеся различным параметром растворимости. Значения параметров растворимости, изученных в качестве растворителей жидкостей, находились в диапазоне от 16,8 до 47,8 Мпа^{1/2}. Выбор жидкостей значительно отличающихся по значениям параметра растворимости в качестве растворителей основан на амфифильной природе сополимера, которая характеризуется наличием как гидрофильных (карбоксилсодержащих), так и неполярных звеньев в макромолекулах. Установлено, что растворимость сополимера зависит от природы растворителя.

Сополимер частично растворяется как в растворителе с наименьшим значением параметра растворимости, так и с наибольшим. Полное растворение наблюдается в растворителях со значениями параметра растворимости от 18,4 до 19,0 Мпа^{1/2}.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Laskowska A.* Ionic elastomers based on carboxylated nitrile rubber (XNBR) and magnesium aluminum layered double hydroxide (hydrotalcite) / A. Laskowska, M. Zaborski, G. Boiteux, O. Gain, A. Marzec, W. Maniukiewicz // eXPRESS Polymer Letters. 2014. Vol. 8. P. 374–386. DOI: 10.3144/expresspolymlett. 2014. 42.
2. *Jiaqiu Xu.* Carboxylated styrene-butadiene latex (XSB) in asphalt modification towards cleaner production and enhanced performance of pavement in cold regions / Xu Jiaqiu; Hong Bin; Lu Guoyang, Li Tianshuai, Wang Shengxian, Wang Congxiao, Wang Dawei // Journal of Cleaner Production. 20.10.2022. Vol. 372. 133653. DOI:10.1016/j.jclepro.2022.133653.
3. *Jiaqi Zhao.* Toughening effects of well-dispersed carboxylated styrene-butadiene latex powders on the properties of oil well cement / Jiaqi Zhao, Miaomiao Hu, Wenming Liu, Jianghui Feng, ang Zhang, Ming Liu, Jintang Guo. // Construction and Building Materials. 18 July 2022. V. 340. 127768. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127768.
4. *Van Krevelen D.W.* Properties of polymers. Their correlation with chemical structure; their numerical estimation and prediction from additive group contributions / *Van Krevelen D.W., Nijenhuis K.Te.* Amsterdam: Elsevier, 2009. 1004 p.
5. Энциклопедия полимеров. М., Советская энциклопедия. Том. 1, 1972, 1224 с.

ДОПОЛНЕНИЕ

УДК 621.86

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАНАТНЫХ ДОРОГ ДЛЯ ЛЕСОЗАГОТОВКИ НА КРУТЫХ СКЛОНАХ

А.В. Химич

Научный руководитель – **И.А. Лагереv**, д-р техн. наук, профессор

Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского

В статье рассматривается использование канатных дорог в лесозаготовке в труднодоступных местах, их основные преимущества и недостатки. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №22-29-00798).

Ключевые слова: лесозаготовка, канатная дорога, канатная установка

USE OF CABLEWAYS IN HARVESTING ON STEEP SLOPES

A.V. Khimich

Scientific Supervisor – **I.A. Lagerev**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Bryansk State Academician I.G. Petrovski University

The article discusses the use of ropeways in logging in hard-to-reach places, their main advantages and disadvantages. This research was awarded by Russian Scientific Foundation (project № 22-29-00798).

Keywords: logging, ropeway, rope installation

Канатные дороги подходят для транспортировки грузов в труднодоступных местах, где традиционные способы перевозки невозможны или неэффективны. Они часто используются для лесозаготовки, горнодобывающей промышленности, строительства и других отраслей [1].

При лесозаготовке в горной местности канатные дороги играют очень важную роль, поскольку они позволяют транспортировать древесину с удаленных и труднодоступных участков. В таких местах строительство лесовозных дорог и использование грузовых автомобилей может быть невозможным или сложным из-за крутых склонов, густой растительности, болот и других географических особенностей. Канатные доро-

ги могут быть проложены над землей и пролетать через долины, реки и другие препятствия, обеспечивая более прямой и быстрый путь для транспортировки заготовленной древесины (рис. 1).

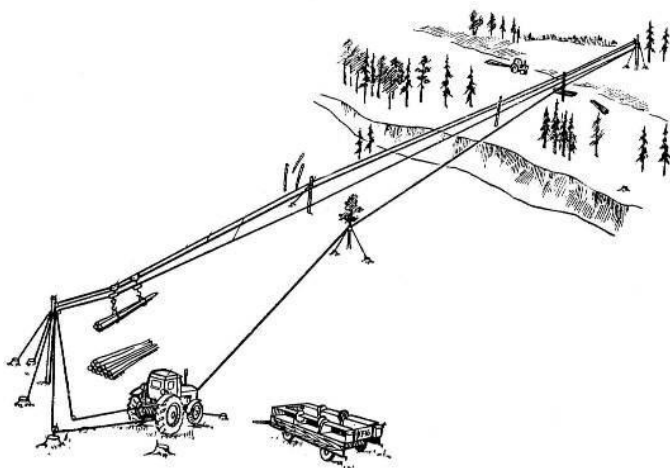


Рис. 1. Лесная канатная установка «ЛСУ» с самоходным приводом

Канатная дорога состоит из двух тросов, один из которых является грузовым, а другой – тросом тяговой системы. Грузовой трос закрепляется на базовой станции и воспринимает эксплуатационные нагрузки со стороны канатной системы и перевозимого груза. Тяговый трос связан с приводом и создает тяговое усилие, необходимое для движения груза. Обычно, канатные дороги строятся на стационарных металлических опорах, которые устанавливаются на определенном расстоянии друг от друга, чтобы обеспечить надежную поддержку тросов. Но у лесной канатной дороги все опоры передвижные [2-3].

Тросы могут быть выполнены из различных материалов, включая сталь, синтетические материалы или натуральные волокна, такие как конопля или джут. Выбор материала зависит от ряда факторов, таких как протяженность троса, максимальная нагрузка и климатические условия.

Для перемещения грузов по канатной дороге используется специальный транспорт, такой как кабинки, грузовые контейнеры или платформы. Кабинки представляют собой небольшие кабины, которые перемещаются по канатной дороге. Грузовые контейнеры и платформы, в свою очередь, закрепляются на грузовом тросе и перевозятся к месту назначения. Груз также может быть подвешен на крюке.

В процессе лесозаготовки в горной местности на канатных дорогах могут использоваться различные типы канатных тележек, включая одноразовые канатные тележки и многооборотные канатные тележки. Одноразовые канатные тележки обычно используются для перевозки небольших грузов на короткие расстояния, а многооборотные канатные тележки могут использоваться для перевозки больших грузов на более дальние расстояния.

Канатные дороги могут быть установлены на различных высотах и варьироваться по длине от нескольких сотен метров до нескольких километров. Они могут быть построены как временное решение для одного проекта или как постоянная инфраструктура для лесопильных заводов, расположенных в отдаленных горных районах.

Однако использование канатных дорог для лесозаготовки в горной местности также может быть связано с некоторыми рисками и ограничениями. Тросы и канатные тележки могут подвергаться значительным напряжениям, особенно при перевозке крупных и тяжелых грузов, и могут требовать регулярной проверки и обслуживания, чтобы избежать аварий и неожиданных поломок. Кроме того, строительство канатных дорог может быть дорогостоящим, особенно в отдаленных и труднодоступных районах, где необходимо проложить дорогу через горные хребты и другие препятствия.

Канатные дороги имеют ряд преимуществ перед другими способами транспортировки грузов, особенно в горных и лесистых местностях. Они могут пройти сквозь густую растительность и перемещать грузы по территории, которая недоступна для других видов транспорта. Кроме того, они более экономичны, чем строительство дорог, особенно если речь идет о крутых и неровных склонах гор.

Однако канатные дороги также имеют свои недостатки, такие как ограничение по грузоподъемности, ограниченная скорость и зависимость от погодных условий. Также, для того чтобы строить и эксплуатировать такие дороги, необходима высокая квалификация и опытность персонала.

Канатные дороги являются важным способом транспортировки грузов и людей в труднодоступных местах, где традиционные виды транспорта неэффективны или невозможны. Они имеют свои преимущества и недостатки, но в целом, они широко используются в различных отраслях и продолжают развиваться и совершенствоваться во многих регионах России.

Разработана конструкция канатной транспортно-технологической машины для лесозаготовки на склоне с использованием канатной системы для позиционирования рабочего органа и вывоза древесины [3-4]. Схема концепции лесной машины показана на рис. 2.

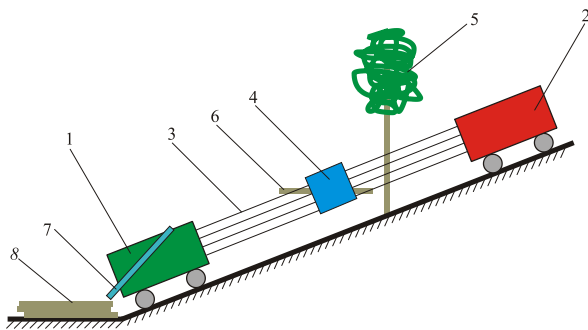


Рис. 2. Схема канатной транспортно-технологической машины для лесозаготовки на склоне с использованием канатной системы для позиционирования рабочего органа и вывоза древесины:

- 1 – главный базовый модуль; 2 – вспомогательный базовый модель;
 3 – канатная система; 4 – рабочий орган; 5 – растущее на склоне дерево;
 6 – спиленное и обработанное дерево; 7 – разгрузочное устройство;
 8 – склад заготовленной древесины

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Химич А.В.* Особенности механизированной лесозаготовки на склонах // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Брянск, 26–27 мая 2022 года. Брянск: Брянский гос. техн. ун-т, 2022. С. 199-204.
2. *Химич А.В.* Исследование динамической нагруженности мобильной канатной транспортно-технологической машины, размещенной на склоне / А.В. Химич, И.А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2022. №2. С. 159-164.
3. *Лагерев И. А.* Перспективы развития транспортно-технологических машин для заготовки леса на склонах / И. А. Лагерев, А. В. Химич // Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта: сб. статей, Екатеринбург, 03 декабря 2021 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2022. С. 64-65.
4. *Лагерев И.А.* Моделирование динамики канатной машины для лесозаготовки / И.А. Лагерев, А.В. Химич // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Брянск, 26–27 мая 2022 года. Брянск: Брянский гос. техн. ун-т, 2022. С. 80-84.