

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

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

Часть 1

Сборник материалов конференции

Электронное издание

Ярославль
2022

© Ярославский государственный технический университет, 2022
ISBN 978-5-9914-0954-4

УДК 378:001.891
ББК 74.58
С30

С30 Семьдесят пятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 20-21 апреля 2022 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 1. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. – 650 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

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, И.Г. Абрамов, С.И. Волгин, Д.Д. Бахаева, Е.Ю. Вавилова, В.Б. Доброхотов, А.С. Ермишин, М.Н. Кюребекова, М.А. Майорова, Н.Л. Маркелова, Д.И. Казюлина, А.С. Морев, А.А. Павлов, К.И. Порсев, П.Б. Разговоров, Т.А. Сиротина, А.В. Соколов, А.Ю. Соколов, Л.А. Тюкина, С.В. Шкиотов, В.С. Федотов

Редактор М.А. Канакотина

Ответственные за электронные издания: М.А. Канакотина, Л.С. Кокина

Подписано к использованию/размещению на сайте
18.04.2022/19.04.2022
Объем издания: 18,5 Мб
Комплектация издания 1 CD-ROM

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 непромышленной сферах
4. Промышленное и гражданское строительство и транспорт
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

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

- 1 **Е.С. Иванова, О.Е. Насакин, В.В. Андреева, М.А. Марьясов.** СИНТЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЧЕБОКСАРСКОЙ РЕАКЦИИ 19
- 2 **И.Д. Карпов, М.В. Старостин, К.Л. Овчинников.** ПОЛУЧЕНИЕ 2*H*-ТИОПИРАНОВ ИЗ 3-(*N*-ПИРРОЛИДИНИЛ)ПРОП-2-ЕН-1-ОНОВ 24
- 3 **Н.Н. Ларионов, М.В. Старостин, К.Л. Овчинников.** СИНТЕЗ 2- И 4-ЗАМЕЩЕННЫХ 6-АРИЛ-4,5-ДИГИДРОПИРИДАЗИНОНОВ И ИХ ТИОНИРОВАНИЕ 27
- 4 **В.М. Лисина, А.Г. Липин.** ГИДРОГЕЛИ КАК РЕГУЛЯТОРЫ СКОРОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ УДОБРЕНИЙ И ВОДОУДЕРЖИВАЮЩИЕ СРЕДСТВА 31
- 5 **Л.Н. Назарова, Н.Н. Ященко, С.В. Житарь, Е.Г. Зиновьева.** ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВЕЩЕСТВ ФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ В ОБРАЗЦАХ КОФЕ 34
- 6 **У.В. Носкова, П.И. Зырянова, Е.В. Скорб.** ИЗУЧЕНИЕ ХЕМО- И БИОСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ КАЛИЙ, НАТРИЙ И КАЛЬЦИЙ ИОНОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЯХ 37
- 7 **А.Е. Решетникова, Я.И. Бондарчук, К.В. Реут, В.В. Сиднева.** ПОЛУЧЕНИЕ 2-[2-ФЕНИЛ-3-АЦЕТИЛАЗИРИДИН-1-ИЛ]-1*H*-ИЗОИНДОЛ-1,3(2*H*)-ДИОНА 39
- 8 **М.В. Старостин, Е.А. Меркулова, А.В. Колобов.** АЦИЛИРОВАНИЕ АМИНОВ АНГИДРИДОМ 4-ФЕНИЛ- 6-МЕТИЛ-3,4-ДИГИДРО-2*H*-ТИОПИРАН-2,3-ДИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ 41
- 9 **Н.С. Сухоносик, Е.О. Щелкунова, В.В. Сиднева, Е.Р. Кофанов.** СИНТЕЗ 2-ФЕНИЛ-6-ВИНИЛИНДОЛИЗИНА 45
- 10 **Е.О. Щелкунова, Н.С. Сухоносик, В.В. Сиднева, Е.Р. Кофанов.** СИНТЕЗ 5-АЛКЕНИЛ-1,2,4-ОКСАДИАЗОЛОВ И ПОЛУЧЕНИЕ *N*-АМИНОАЗИРИДИНОВ НА ИХ ОСНОВЕ 48
- 11 **Д.Э. Вераксо, Л.З. Абунаева, А.Е. Антипов.** ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТВОРОВ ПОЛИОКСОМЕТАЛЛАТОВ КАК КАТОДНЫХ РЕДОКС-МЕДИАТОРОВ В ГИБРИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ 51
- 12 **С.С. Воронова, В.В. Ларина, А.Д. Попов, С.А. Сухих.** ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО ПОТЕНЦИАЛА

- ПОЛЫНИ ГОРЬКОЙ, ПОЛЫНИ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЗОЛОТАРНИКА, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 54
- 13 **А.Н. Дворецкая, Т.Н. Судзиловская.** СТРУКТУРНОЕ ПРОМОТИРОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ФЕРРИТОВ КАЛИЯ ЗА СЧЕТ ДОБАВОК ЦИРКОНИЯ 57
- 14 **Е.А. Дерябина, В.В. Ларина, Е.Г. Чупахин.** ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА, ДОПИРОВАННЫХ МОЛИБДЕНОМ, ТАНТАЛОМ, ВАНАДИЕМ И НИОБИЕМ, И ИХ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НА ПРИМЕРЕ РЕАКЦИИ МИХАЭЛЯ 60
- 15 **П.А. Задёр, Д.В. Конев, М.А. Воротынцев.** РАСЧЁТ РАВНОВЕСНОГО И КВАЗИРАВНОВЕСНОГО СОСТАВА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВ С РАЗЛИЧНЫМИ СТЕПЕНЯМИ ЕГО ОКИСЛЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕДОКС ПОТЕНЦИАЛА И PH РАСТВОРА 63
- 16 **П.И. Зырянова, У.В. Носкова, А.О. Пивень, С.А. Уласевич.** ИЗУЧЕНИЕ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ КЛЕТОЧНОЙ КОММУНИКАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ ИОННЫХ КАНАЛОВ 67
- 17 **В.С. Кабанова, Е.А. Курганова, А.С. Фролов.** ГИДРОПЕРОКСИДНЫЙ СПОСОБ СОВМЕСТНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ФЕНОЛА И МЕТИЛЭТИЛКЕТОНА 69
- 18 **Н.В. Каргашова, А.А. Пустовалова, Д.В. Конев, А.Е. Антипов, М.А. Воротынцев.** $\text{RuO}_2/\text{TiO}_2/\text{Ti}$ ЭЛЕКТРОД ДЛЯ ПЕРЕЗАРЯЖАЕМОЙ ВОДОРОДНО-БРОМАТНОЙ БАТАРЕИ. ПОЛУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА РЕСУРСА 72
- 19 **Д.Э. Клейкова, В.Л. Баклагин, К.В. Молчанова, И.Г. Абрамов.** РАЗРАБОТКА МЕТОДА СИНТЕЗА 4,5-ДИХЛОРФТАЛОНИТРИЛА 76
- 20 **М.С. Малонван, Н.В. Филатова, Н.Ф. Косенко.** НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ПЕРЕХОДА ОСАЖДЕННОГО БАЙЕРИТА $\text{Al}(\text{OH})_3$ В БЁМИТ AlOON 78
- 21 **А.М. Урядова, А.С. Карандеева, Е.С. Макарова, С.И. Филимонов.** СИНТЕЗ ГЕКСАГИДРО-2*H*-ХРОМЕНО[4,3-*D*]ПИРИМИДИН-2,5-ДИОНОВ 82
- 22 **В.А. Фуфаева, Т.Е. Никифорова.** ИЗВЛЕЧЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ГИДРОГЕЛЕВЫМ ХИТОЗАНОВЫМ АДсорбЕНТОМ 85
- 23 **В.О. Яхнева, А.В. Лысенко.** ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОЙ АКТИВАЦИИ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД НА ВНЕШНЮЮ

	ДИФФУЗИЮ В ПРОЦЕССЕ СОРБЦИИ ИОНОВ Zn (II) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ	89
24	В.Б. Бредихина, А.Н. Кончешкова, А.А. Бредихин, Н.В. Ключникова. ПЕРЕРАБОТКА ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ	93
25	С.В. Варваркин, Н.П. Герасимова. СИНТЕЗ 5-АМИНОСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ	98
26	С.Ю. Васильева, Е.А. Темяшкин, Н.И. Кольцов, О.Е. Насакин. ПЕНОПОЛИУРЕТАНЫ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИОЛОВ РАПСОВОГО МАСЛА	101
27	И.И. Захлевная, А.С. Щербаков, Д.С. Матвеевко, Н.В. Ключникова. НАПОЛНЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА	105
28	А.И. Иванова, Д.В. Сакичев, А.Б. Ветошкин, С.В. Гудков. ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ДЕФЕКТА НА ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТОВ	109
29	А.А. Кириллов, М.В. Кузьмин, Н.И. Кольцов. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРЕМНИЙУРЕТАНСОДЕРЖАЩИХ ОЛИГОМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕТИЛФЕНИЛСИЛОКСАНА И ИЗОФОРОНДИИЗОЦИАНАТА	113
30	Ковылова Ю.В., Конченкова А.Н., А.Л. Ковылов, Н.В. Ключникова. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА	116
31	К.А. Коннова, Е.Н. Егоров, Н.И. Кольцов. ВЛИЯНИЕ ТРАНС-ПОЛИНОРБОРЕНА И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ	120
32	А.Н. Конченкова, В.Б. Бредихина, Ю.В. Ковылова, Н.В. Ключникова. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИКАРБОНАТА, ВЫБОР И ЕГО ОБОСНОВАНИЕ	123
33	О.В. Копнина, А.И. Мерзликина, А.С. Щербаков, Н.В. Ключникова. АНАЛИЗ РЫНКА ПОЛИКАРБОНАТА В РФ	127
34	Д.Н. Лушин, К.В. Ефимов, Е.Н. Егоров, Н.И. Кольцов. ВЛИЯНИЕ ГИДРОСОРБЦИОННОГО СОПОЛИМЕРА НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДОНАБУХАЮЩЕЙ РЕЗИНЫ	131
35	Д.С. Матвеевко, И.И. Захлевная, Ю.А. Ковылова, А.С. Щербаков, Н.В. Ключникова. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНО-	

	ЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ РАСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИУРЕТАНА	134
36	Н.А. Набойщикова, Е.В. Гусев, Т.А. Агеева. ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ ФЕНОПЛАСТОВ	138
37	И.С. Огарев, В.В. Власов, А.С. Пушкица. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ РАЗНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ И ПВХ	141
38	Т.Е. Смирнова, А.И. Иванов, О.Ю. Соловьева, В.В. Власов. ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО АКТИВАТОРА СЕРНОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ КАУЧУКА СКИ-3	145
39	Т.С. Татарова, И.С. Спиридонов, Н.И. Кольцов. ВЛИЯНИЕ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНЫХ КАУЧУКОВ НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ	150
40	Е.А. Темяшкин, С.Ю. Васильева, Н.И. Кольцов, О.Е. Насакин. ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕСТКОГО ПЕНОПОЛИУРЕТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОКСИЛИРОВАННОГО ТАЛЛОВОГО МАСЛА	153
41	П.А.Трутнев, В.В. Власов, А.Н. Исаев, А.С. Пушкица. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ФИЛАМЕНТА ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА	157
42	А.С. Щербаков, И.И. Захлевная, О.В. Копнина, Н.В. Ключникова. ПРОИЗВОДСТВО РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ ДЛЯ БЕСШОВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕН-ПРОПИЛЕНДИЕНОвого КАУЧУКА	160
43	О.А. Юдина, К.В. Ефимов, Н.А. Семенова, Н.И. Кольцов. ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОСФЕР НА КИНЕТИКУ ВУЛКАНИЗАЦИИ ВОДОНАБУХАЮЩЕЙ РЕЗИНЫ	164
44	Г.Б. Ануфриева, Е.А. Индейкин. ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПИГМЕНТОВ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ	167
45	А.А. Васялина, А.А. Ильин. ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРГАТОРОВ НА ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ВОДНОДИСПЕРСИОННОЙ ГРУНТОВКИ	170
46	Ю.А. Воронина, Ю.А. Крылова, А.Е. Терешко. ПОЛУЧЕНИЕ ВОДРАЗБАВЛЯЕМОЙ КРАСКИ РАЗЛИЧНЫХ ЦВЕТОВ	173

47	К.В. Ермакова, М.М. Курбонов, А.В. Павлов. ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПАРЧОВЫХ ТКАНЕЙ КОМБИНИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ	175
48	Н.В. Иванова, Е.А. Индейкин. СИНТЕЗ ЖЕЛЕЗНОЙ ЛАЗУРИ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	177
49	А.Н. Колосова, А.Е. Терешко. НОВЫЕ ВИДЫ СЫРЬЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ЖЕЛЕЗООКСИДНЫХ ПИГМЕНТОВ	180
50	Я.В. Кудрявцев, А.Е. Терешко. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО ОКСИДА ЖЕЛЕЗА В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ЖЕЛЕЗООКСИДНЫХ ПИГМЕНТОВ	183
51	А.Д. Хлопотинин, Е.А. Индейкин. ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПИГМЕНТНОЙ ПАСТЫ НА ЕЁ КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ	186
52	А.А. Ахроров. АНАЛИЗ ФИЗИКО–ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АБСОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ И ВТОРИЧНЫХ ГАЗОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ	190
53	А.А. Ахунбаев, Р.Х. Миршарипов, М. Йигиталиев, Р.Ж. Тожиев. ВЫСУШИВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНДУКТИВНОМ АППАРАТЕ	193
54	А.Х. Бахтиярова, В.В. Ларина, А.Д. Попов, О.О. Бабич ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ВЕРБЕЙНИКА ОБЫКНОВЕННОГО И ИХ ПРОТИВОМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ	198
55	М.С. Белинов, М.А. Червочкин, О.В. Малышкина, В.В. Соловьев. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПЕНОГАСИТЕЛЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПЕНЫ ПРИ РАЗГОНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЭТИЛОВОГО СПИРТА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО	202
56	Е.А. Буденкова, Е.Г. Чупахин, О.В. Кригер. ОПТИМИЗАЦИЯ СТАДИЙ ПРЕДОБРАБОТКИ И ОСАХАРИВАНИЯ СУБСТРАТА В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА	206
57	М.С. Бучаев, А.В. Тарасов, Г.В. Рыбина. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ АКТИВНОСТИ КОМПОНЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ НЕФТЯНЫХ МАСЕЛ N-МЕТИЛПИРРОЛИДОНОМ	209
58	М.С. Бучаев, А.В. Тарасов, Г.В. Рыбина. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ РАСТВОРИТЕЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЯНЫХ МАСЕЛ	214

- 59 **М.А. Гончарова, М.С. Белинов, О.Н. Кораблева, В.К. Леонтьев.** РАСЧЕТ КОНЕЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР ФАЗ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ИХ ЧЕРЕЗ СМЕСИТЕЛЬ ГАЗОЖИДКОСТНОГО АППАРАТА С ЭЖЕКЦИОННЫМ ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ ГАЗА 217
- 60 **И.Т. Каримов, А.С. Исомидинов, Г.И. Мадаминава, Х.Р. Хомидов, А.А. Махмудов.** СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ В КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ 221
- 61 **А.М. Лобова, А.К. Григоричев.** ПИНЧ-АНАЛИЗА В ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕПЛООБМЕННОЙ СЕТИ УСТАНОВКИ ЭЛОУ-АТ 227
- 62 **М.В. Люшина, А.К. Григоричев.** ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 232
- 63 **И.М. Мамаризаев, Б.А. Алиматов, Х.М. Садуллаев.** ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ НА ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ 237
- 64 **К.А. Марзаева, А.В. Тарасов, Г.В. Рыбина.** ОПТИМАЛЬНОЕ КОМПАУНДИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ ТОВАРНЫХ БЕНЗИНОВ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ВЫРУЧКИ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ 242
- 65 **Р.Х. Миршарипов, Х.А. Хакимов, И.И. Улмасов, А.А. Ахунбаев.** ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НА ТЕМПЕРАТУРУ МАТЕРИАЛА В БАРАБАННЫХ СУШИЛКАХ 244
- 66 **А.А. Муйдинов, Э.В. Корабоев, Ш.У. Джураев, А.А. Ахунбаев.** ГИДРОДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА В СУШИЛЬНОМ БАРАБАНАЕ 248
- 67 **А.А. Муйдинов, Б.А. Алиматов, Х.М. Садуллаев.** НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО БАРБОТАЖНОГО ЭКСТРАКТОРА 253
- 68 **А.В. Назаров, А.А. Липин.** УДОБРЕНИЕ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ 257
- 69 **А.В. Титова, А.М. Глазунова, Е.Р. Швайковская, В.К. Леонтьев.** О КОЭФФИЦИЕНТЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АППАРАТОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СИЛЫ 260
- 70 **Р.Ж. Тожиев, Р.Х. Миршарипов, Н.Р. Ражабова, М.М. Муллажонова.** ОПТИМИЗАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ СУШИЛЬНОГО БАРАБАНА 264

- 71 **А.А. Хакимов, Н.Х. Вохидова, М.Ж. Нуриддинов.** СПОСОБ ВЫБОРА И ЗНАЧЕНИЕ ПРЕССУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В ПРОИЗВОДСТВЕ ГОРЮЧИХ БРИКЕТОВ 272
- 72 **А.О. Хошимов, Б.А. Алиматов, Х.М. Садуллаев.** ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БАРБОТАЖНЫХ ЭКСТРАКТОРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТРИАЦЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ 280
- 73 **М.А. Хусанбоев, Б.А. Алиматов, Х.М. Садуллаев.** ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ КОНСТРУКЦИЯ БАРБОТАЖНОГО ЭКСТРАКТОРА 283
- 74 **М.А. Червочкин, М. А. Гончарова, М.С. Белинов, В.В. Соловьев.** РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭТИЛОВОГО СПИРТА И БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ЕГО ОСНОВЕ 287
- 75 **М. А. Червочкин, А. В. Белян, М. С. Белинов, В. В. Соловьев.** СИНТЕЗ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННЫХ НЕФТЯНЫХ МАШИННЫХ МАСЕЛ, НАХОДЯЩИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ УГЛЕЙ 291
- 76 **М.А. Червочкин, Д.Р. Погодин, А.В. Пичугина, В.В. Соловьев.** ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ И ВЫБОР УСЛОВИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА 296
- 77 **Н.А. Эргашев, Б.Н. Мамарасулов, Й.Ю. Сайдалиев.** ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ С ПРЯМОТОЧНО-ВИХРЕВЫМИ КОНТАКТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ 300
- 78 **В.С. Ясонов, Д.М. Немиров, Т.Р. Елфимов, Б.В. Шведский, В.К. Леонтьев.** УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА НА УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКЕ 308
- 79 **Л.В. Лобанова, Р.С. Бегунов.** УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИНТЕЗ 1-(2,4-ДИНИТРОФЕНИЛ)БЕНЗОТРИАЗОЛА 312

СЕКЦИЯ «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ»

- 80 **А.А. Ахроров.** УЧЕТ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ЖИДКОСТИ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РОТОРНО-ФИЛЬТРУЮЩЕГО АППАРАТА 314
- 81 **А.А. Ахроров.** ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЯ ПЛЁНКИ ЗАКИСЛЕННОГО РАСТВОРА АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ 319
- 82 **А.А. Ахроров.** ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЯ ПЛЁНКИ ВОДНОГО РАСТВОРА ТЕХНИЧЕСКОЙ СОДЫ НА РАБОЧЕЙ

	ПОВЕРХНОСТИ РОТОРНОГО ФИЛЬТРУЮЩЕГО АППАРАТА	323
83	Д.С. Веселов, М.В. Шарыгина, Е.Л. Никитина. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ КАРЬЕРНЫХ ВОД	327
84	А.Р. Габдрафикова, Л.Р. Акчурина, Ю.А. Валиахметова. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	329
85	В.А. Гонова, А.Г. Липин. ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ НИКЕЛЯ	332
86	М. В. Губенко, М. Р. Скороходова, Ю. С. Рыжкова. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРЕДПРИЯТИЯХ	335
87	И.Р. Даниева, Л.Р. Акчурина, Ю.А. Валиахметова. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	339
88	В.А. Зайцев, А.С. Зайцева, С.Д. Тимрот. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ КИСЛЫХ ГУДРОНОВ В КАЧЕСТВЕ АДГЕЗИОННОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ БИТУМОВ	342
89	И.Н. Тихонова, И.Г. Мигранова. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕЖСОРТОВОГО РАЗЛИЧИЯ РЕАКЦИЙ ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР НА ПРИСУТСТВИЕ В СРЕДЕ КСЕНОБИОТИКОВ	345
90	Д.В. Иванов, В.Ф. Юрьева, Е.С. Тягунова, М.В. Литвин. КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ	348
91	Р.Э. Калаев, В.Е. Копылова, Н.Л. Маркелова, С.З. Калаева. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ОПАСНОСТИ ОСАДКА СТАНЦИИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	351
92	Р.Э. Калаев, А.В. Петровых, В.Е. Копылова, С.З. Калаева. ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ СОРБЕНТОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ	354
93	Г.И. Мадаминова, И.Т. Каримов, А.С. Исомидинов. АНАЛИЗ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ	358
94	В.Г. Козлова, А.В. Валуев, Н.Л. Маркелова. АНТИСЕПТИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА	365
95	В.Е. Кочиков, С.В. Жеглов, К.М. Муратова. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА УТИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕЙ ПЫЛИ	368

96	А.А. Куклин, Е.В. Сыцяно. АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОЯВЛЕНИЯ НЕФТЕШЛАМОВ И НЕОБХОДИМОСТИ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ	370
97	К.А. Левина, А.В. Лысенко. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КИНЕТИКИ ВНУТРЕННЕЙ ДИФФУЗИИ НА ПРОЦЕСС СОРБЦИИ ПРЯМОГО БИРЮЗОВОГО СВ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ДРЕВЕСНЫМИ ОПИЛКАМИ	373
98	А.И. Матвиевский, К.Д. Скоробач, Ю.С. Рыжкова. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	377
99	А.Р. Сандаков, Е.А. Путина, С.З. Калаева, Е.А. Королева. ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ КОМПЕТЕНЦИИ ШКОЛЬНИКОВ В СРЕДЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ЯГТУ	381
100	Э.М. Сафиуллин, В.В.Соловьева, Е.Л. Никитина. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ	385
101	Е.С. Сергеев, О.П. Филиппова. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВРЕДА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ	388
102	Е.С. Сергеев, А.М. Геннадьева, О.П. Филиппова. ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ МЕТОДОМ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ	392
103	А.И. Шкиря, Е.С. Сергеев, О.П. Филиппова. ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ЗАГУЩАЮЩЕГО АГЕНТА	396
104	Ю.А. Синицына, Л.Р. Акчурина, Ю.А. Валиахметова. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ РУД	400
105	В.А. Соболева, К.Е. Дмитриев, А.О. Шамина, И.С. Коротнева. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	405
106	А.Н. Черняева, Е.С. Лебедева, Е.А. Фролова. ПРОЕКТ УСТАНОВКИ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ г. ЧЕРЕПОВЕЦ	409
107	Е.А. Юнина. К ВОПРОСУ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	414
108	В.Ф. Юрьева, Д.В. Иванов, С.В. Голочалов, М.А Латкин. ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	418

СЕКЦИЯ «ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ»

- 109 **В.С. Голдовский, Н.И. Перов.** МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ В ЗВЁЗДАХ РАЗНЫХ ТИПОВ 422
- 110 **О.А. Дыбова, Д.П. Андрианов.** ОПТИМИЗАЦИОННОЕ ОСНОВАНИЕ ТРАНЗИТНЫХ МОЩНОСТЕЙ В ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧЕ ЭНЕРГЕТИКИ 426
- 111 **А.О. Пивень, П.И. Зырянова, Т. Орлова.** РАЗРАБОТКА НОВОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ИЗ СТРУКТУРИРОВАННОГО НА МИКРОННОМ УРОВНЕ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ХИРАЛЬНОГО НЕМАТИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА 429
- 112 **А.А. Удальцова, Т.К. Артемова.** АНАЛИЗ СВОЙСТВ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАЗЕМНОЙ СТАНЦИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ КА/Q-ДИАПАЗОНА, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИЮ МИМО 431
- 113 **Д.Д. Шапиро, В.В. Воронин.** ПОИСК НОВЫХ МЕЖУКЛОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МЕТОДОМ НЕЙТРОННОГО РАССЕЯНИЯ 433
- 114 **М.А. Погребняк, И.С. Кашенко.** МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА 436

СЕКЦИЯ «НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ»

- 115 **М.А. Афанасьев, Ю.Г. Попов.** КОНСТРУКЦИЯ ШИННОГО МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЯЖЕЛОЙ ПНЕВМОКОЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ 440
- 116 **Д.В. Винокуров, Ю. Г. Попов.** ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ СТРЕЛЫ ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА 444
- 117 **К.А. Гаричев, Д.А. Гончаренко, Л.М. Шамахов.** АНАЛИЗ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА МЕСТНОСТИ 448
- 118 **Д.А. Гончаренко, К.А. Гаричев, Л.М. Шамахов.** ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВСЕНАПРАВЛЕННЫХ КОЛЕС 452
- 119 **А.С. Дмитриев, А.Н. Назаров.** ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ SBL 456
- 120 **С.С. Ефимов, И.С. Тюремнов.** АКТУАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА ВИБРОПЛИТАМИ 460

121	А.С. Краюшкин, И.С. Тюремнов. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА В ПРОГРАММЕ LS-DYNA	464
122	А.П. Кузнецов, И.С. Тюремнов, Н.Е. Тарасова. АДАПТЕР ДЛЯ ЗАМЕНЫ РАБОЧЕГО ОРГАНА ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА	469
123	А.С. Кусмарцев. К ВОПРОСУ О СОДЕРЖАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД	473
124	П.С. Ломов, М.С. Ломов, Д.В. Фурманов. ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ БЕТОНА ПРИ КОНТАКТНОМ РАЗРУШЕНИИ	477
125	Г.С. Малов, Ю.Г. Попов. ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВАЛЬЦА ВИБРАЦИОННОГО КАТКА В СРЕДЕ AUTO-DESK INVENTOR	481
126	Д.А. Мамадризов, И.С. Тюремнов. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УСТАНОВКИ ВИНТОВЫХ СВАЙ	485
127	А.В. Михалев, А.Н. Назаров, С.Д. Иванов. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕСТА НАКЛЕЙКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ТЕНЗООСИ НА ЕЁ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	489
128	К.М. Пискун, С.Д. Иванов. ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИФТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ	493
129	И.А. Подстрешный, И.С. Тюремнов. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ШАССИ МАЛОГАБАРИТНОЙ КОММУНАЛЬНОЙ МАШИНЫ	497
130	И.А. Пятунин, Н.Е. Тарасова. КЛАССИФИКАЦИЯ СОРТИРОВОЧНЫХ КОВШЕЙ ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА	500
131	Г.С. Скосарев, С.А. Лямина, А.А. Шуринов. РЕЖИМЫ ВИБРАЦИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ	504
132	А.И. Соловьев, Д.В. Фурманов. ФРЕЗА ДОРОЖНАЯ НА ЭКСКАВАТОР	507
133	Н.А. Фомин, А.А. Понитаев. СОВРЕМЕННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ БОЛЬШОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ	510
134	Л.М. Шамахов, Н.Э. Лысаков, Д.В. Фурманов. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗАНИЮ АСФАЛЬТОБЕТОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ЭЛЕМЕНТА	513

- 135 **А.М. Шишов, Д.В. Фурманов.** КРАН НАПОЛЬНЫЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ 517
- 136 **Д.А. Шорохов, И.С. Тюремнов.** К ВОПРОСУ АКТУАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА РЕЗУЛЬТАТОВ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА ВИБРАЦИОННЫМИ КАТКАМИ 521
- 137 **А.В. Яковлев, А.С. Морев.** О ВИБРОПЛОЩАДКЕ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ 525
- 138 **Д.В. Яковлев, С.Г. Гнездилов.** ОЦЕНКА НАГРУЖЕННОСТИ ПРОУШИН СЛОЖНЫХ ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ 529
- 139 **А.А. Копосов, Д.В. Фурманов.** СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ 533

СЕКЦИЯ «ДОРОЖНЫЙ И АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ»

- 140 **Ю.А. Колмаков, Г.А. Фоменко.** ESG-ПОДХОД К СТРОИТЕЛЬСТВУ И РАЗВИТИЮ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ (НА ПРИМЕРЕ г. ПЕРЕСЛАВЛЯ-ЗАЛЕССКОГО) 537
- 141 **Д.С. Ражев, А.М. Фиронов.** КЛЮЧЕВЫЕ РАЗРАБОТКИ КОМПАНИИ GENERAL MOTORS ЗА ПОСЛЕДНИЕ 30 ЛЕТ 544
- 142 **М.Э. Слисенко, В.В. Иродов, Т.В. Погодина.** ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ 549
- 143 **П.А. Горячев, В.В. Иродов, Т.В. Погодина.** ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ 556
- 144 **А.А. Пикулин, А.М. Канаев.** ВЛИЯНИЕ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ 563
- 145 **Е.А. Касаткин, А.М. Канаев.** ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ОБРАЗЦОВ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ВС РФ 569
- 146 **Д.Е. Гольке, О.В. Сидоренко, В.В. Капралов.** МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ПОВСЕДНЕВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ 576
- 147 **Д.А. Косарев, М.С. Балунев.** ВОЕННАЯ АВТОМОБИЛЬНАЯ ТЕХНИКА ВС РФ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АРКТИКЕ 581

- 148 **А.В. Матвеев, А.В. Бажанов, М.И. Гетманский, М.С. Балунув.** ВОЕННАЯ ТЕХНИКА ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА БАЗЕ КАМАЗ 585
- 149 **Е.В. Мороз, М.С. Балунув.** АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЙСКОВОГО РЕМОНТА В УСЛОВИЯХ ВОЕННЫХ ЛОКАЛЬНЫХ КОНФЛИКТОВ 590
- 150 **А.Э. Огородников, М.С. Балунув, С.С. Черников.** БЕСШАТУННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ 593
- 151 **А.М. Ясько, И.А. Трефилов, И.А. Василенко, С.Г. Кондаков.** ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВОДИТЕЛЯ 597
- 152 **Б.С. Сергейчук, С.Г. Кондаков.** ОСОБЕННОСТИ ПРАВИЛ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В СРАВНЕНИИ С ПРАВИЛАМИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ 601
- 153 **М.С. Ермаков, М.А. Червочкин, В.В. Соловьев, А.В. Соколов.** ВЛИЯНИЕ ГЛИЦЕРИНА НА СВОЙСТВА ЛИТИЕВЫХ СМАЗОК НА ОСНОВЕ АЛИФАТИЧЕСКИХ ЭФИРОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ТАЛЛОВОГО И РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ 604
- 154 **М.С. Ермаков, М.А. Червочкин, В.В. Соловьев, А.В. Соколов.** СРАВНЕНИЕ ЗАЩИТНО-СМАЗОЧНЫХ СВОЙСТВ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СИЛИКОНОВЫХ ЖИДКОСТЕЙ ДИОКТИЛСЕБАЦИНАТА И АЛИФАТИЧЕСКИХ ЭФИРОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ 609
- 155 **М-Х.Х. Наурбиев, А.В. Соколов.** РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ 614

СЕКЦИЯ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»

- 156 **Н.Е. Воробьев, С.О. Курин, М.С. Балунув.** ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 3D-ПЕЧАТИ 618
- 157 **М.А. Якушев, А.И. Яманин.** ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ВИБРАЦИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА МНОГОЦЕЛЕВОГО МАЛОГАБАРИТНОГО ФОРСИРОВАННОГО ДВИГАТЕЛЯ 621

158	Е.И. Яринич, У.В. Сыцянюк. ПРИНЦИП РАБОТЫ ВОДОМАСЛЯНЫХ СЕПАРАТОРОВ	626
159	А.П. Васильев, А.А. Ивнев. МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВЫПУСКНОГО КОЛЛЕКТОРА СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ	629
160	В.С. Коротков, А.А. Павлов. АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ КЛАПАНОВ АККУМУЛЯТОРНОЙ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЯ	635
161	С.М. Трясков, А.А. Павлов. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ КЕРОСИНОВОЙ ФОРСУНКИ АВИАЦИОННОГО ПОРШНЕВОГО ДИЗЕЛЯ	639
162	М.А. Кокарев, Ю.Е. Хрящёв. ТЯГОВЫЙ РАСЧЁТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ	646

СЕКЦИЯ «ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

УДК 517.925

СИНТЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЧЕБОКСАРСКОЙ РЕАКЦИИ

Е.С. Иванова, О.Е. Насакин, В.В. Андреева, М.А. Марьясов

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

Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

Для повышения биологической активности лекарственных субстанций и эффективности их иммобилизации мы предлагаем найденное нами метилирование трет. аминов в субстанциях - «Чебоксарскую реакцию». Её особенностью является параллельное с метилированием формирование поликарбонитрилсодержащих анионов, которые резко увеличивают способность полученных солей к сорбции на наноалмазах. Нами метилированы шесть значимых для медицины соединения 4-Диметиламинопиридин, Изониазид, Имипрамин, Кардил, Азитромицин, 3-Формилиндол, 3-Ацетилиндол. Посадка на наноалмазы была проведена как с исходными субстанциями, так и с продуктами «Чебоксарской реакции». Последние показали наибольшую эффективность в осуществлении иммобилизации.

Ключевые слова: 4-диметиламинопиридин, Имипрамин, Кардил, Азитромицин, 3-формилиндол, 3-ацетилиндол, третичный азот, детонационные наноалмазы

SYNTHETIC POTENTIAL OF CHEBOKSAR REACTION

E.S. Ivanova, O.E. Nasakin, V.V. Andreeva, M.A. Maryasov

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

I. N. Ulyanov Chuvash State University

To increase the biological activity of medicinal substances and the effectiveness of their immobilization, we propose found by us methylation of tert. amines in substances - "Cheboksary reaction". Its feature is the formation of polycarbonitrile-containing anions in parallel with methylation, which sharply increase the ability of the

obtained salts to sorption on nanodiamonds. We have methylated six medically significant compounds 4-Dimethylaminopyridine, Isoniazid, Imipramine, Cardyl, Azithromycin, 3-Formylindole, 3-Acetylindole. Landing on nanodiamonds was carried out both with starting substances and with products of the Cheboksary reaction. The latter have shown the greatest effectiveness in the implementation of immobilization.

Keywords: 4-dimethylaminopyridine, Imipramine, Cardyl, Azithromycin, 3-formylindole, 3-acetylindole, tertiary nitrogen, detonation nanodiamonds

Низкая усваиваемость организмом лекарственных препаратов обусловлена их трудной растворимостью в воде и липидах, поэтому из 10000 молекул в организме только одна достигает биологической мишени [1]. Мы предлагаем шире вовлекать приоритетные отечественные разработки – наноалмазы (НА) [2^{a-d}] (наиболее индеферентные для организма носители фарм. субстанций [4]) для «таргетной» доставки лекарств к источнику заболевания и реакцию мгновенного метилирования трет. аминов в субстанциях, с одновременным формированием поликарбонитрильных анионов («Чебоксарская реакция» [3]), резко увеличивающих адгезию к поверхности НА. Нами для исследований взяты несколько азотосодержащих соединений разнонаправленного терапевтического действия. Кардил защищает сердечную функцию от гипоксии и ишемии, снижает артериальное давление. Имипрамин – один из первых представителей антидипрессантов. Азитромицин, используется для лечения различных инфекционных заболеваний. Изониазид – эффективное противотуберкулёзное средство. 3-Ацилиндол биологически активен в отношении онкологии, воспалений, фитопатогенных грибов. 3-Формилиндол способствует снижению чувствительности слизистой оболочки в организме, обладает противогрибковой активностью. 4-Диметиламинопиридин применим в лечении нервно-мышечной дисфункции, онкологии.

Также были изучены свойства метилированного производного последнего - иодид 4-(диметиламино)-1-метилпиридиния. Соединение способно проникать через гематоэнцефалический барьер (*барьер между кровеносной и центральной нервной системой*) и является сильнейшим ингибитором холинэстеразы, что позволяет его рассматривать как потенциальный лекарственный препарат для профилактики болезни Альцгеймера. Таким образом, возможности метилирования позволяют расширить диапазон биологической активности потенциальных БАВ (биологически активных веществ) и лекарственных средств.

Реакции метилирования с перечисленными выше субстанциями (**5a-e** на схеме 1, **11a,b** на схеме 2) протекают без осложнений в метаноле. Предположительные схемы взаимодействия азотосодержащих компонентов, ТЦЭ и метанола составлены на основании источника [5]. Вероятно, соединения с основным третичным азотом **5a-e** вступают в реакцию по схеме 1.

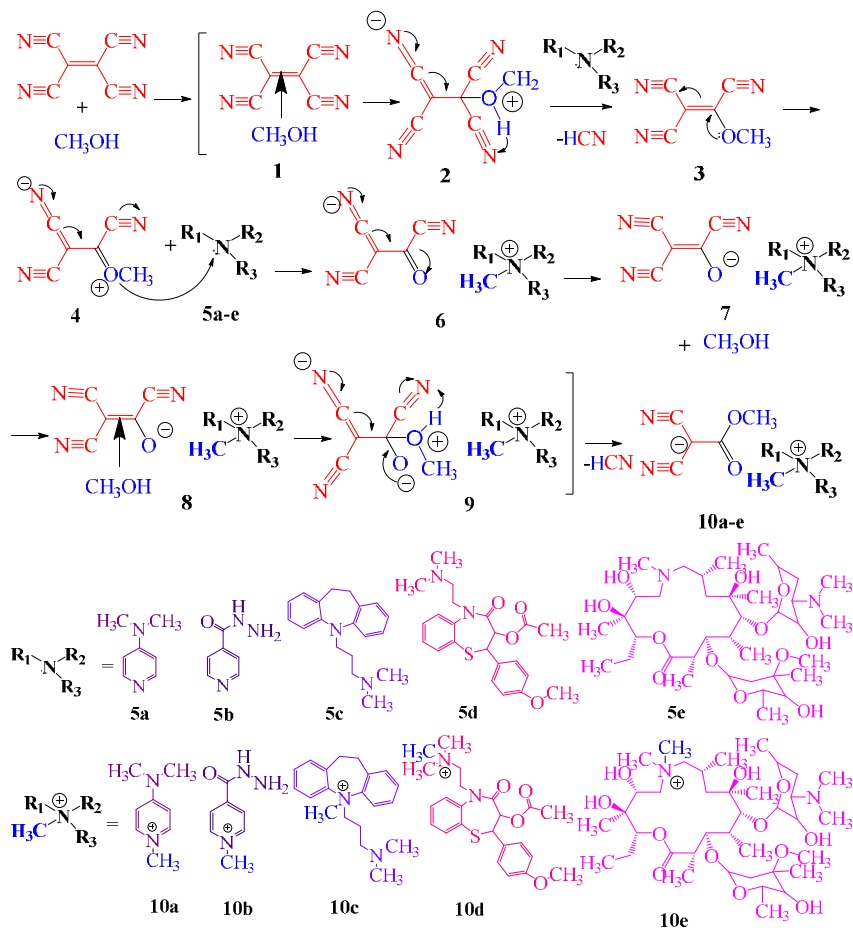


Схема 1. Взаимодействие соединений **5a-e** с ТЦЭ и метанолом

Мы пришли к выводу, что азотосодержащие реагенты **5a-e** снижают энергетический барьер между ТЦЭ и метанолом. В отличие от стандартного катализатора их реакции - мочевины [5], третичный азот в субстанциях претерпевает дальнейшие химические превращения с образованием солей метилового эфира дицианоуксусной кислоты **10a-e**.

«Чебоксарская реакция» с производными индола **11a,b**, ввиду кислотности азота, протекает иным путём, через образование кетала **12**, таутомерная форма которого присоединяется к производным индола **11a,b**. Основываясь на данных ЯМР ^1H для **11a,b**, наиболее вероятно взаимодействие по α -положению по отношению к индольному азоту

(схема 2) ввиду отсутствия в относительно слабом поле (6-8 м.д.) синглета, отвечающего за протон в α -положении.

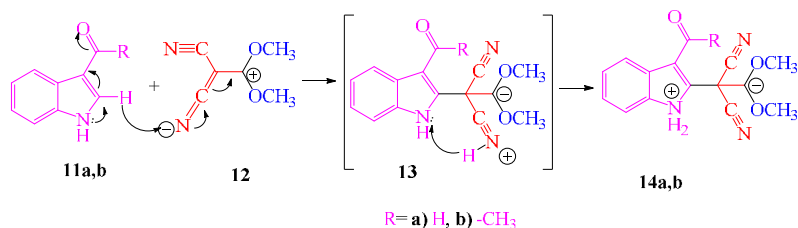


Схема 2. Присоединение диметилдицианоацетата по α -положению индола

Для подтверждения высокой способности к адгезии продуктов реакции метилирования **10a-e**, **14a,b** иммобилизовали на наноалмазы наряду с ними еще и исходные соединения – диметиламинопиридин **5a**, Изониазид **5b**, Имипрамин гидрохлорид **5c**, Кардил гидрохлорид **5d**, Азитромицин дигидрат **5e**, 3-формилиндол **11a**, 3-ацетилиндол **11b**. По результатам проделанной работы выходы иммобилизованных продуктов реакции **10a-e**, **14a,b** на порядок выше, чем у стандартных препаратов **5a-e**, **11a,b** (табл. 1).

Таблица 1. Иммобилизация лекарственных субстанций на наноалмазы

Исходные соединения	Выход, % (г)	Метилированные продукты	Выход, % (г)
5a	1,3 (0,00027)	10a	11,3 (0,00231)
5b	1,1 (0,00021)	10b	10,8 (0,00219)
5c	1,4 (0,00029)	10c	11,1 (0,00222)
5d	1,8 (0,00036)	10d	11,9 (0,00236)
5e	1,6 (0,00033)	10e	12,5 (0,00250)
11a	1,5 (0,00028)	14a	13,1 (0,00264)
11b	1,2 (0,00023)	14b	12,8 (0,00273)

Таким образом, метилирование тетрацианоэтиленом и карбинолом перспективно в создании новых лекарственных форм с повышенной таргетной эффективностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демина Н.Б. Стратегии разработки и биофармацевтические аспекты систем доставки лекарственных средств / Н.Б. Демина, С.А. Скатков // Российский хим. журн. 2012. Т. 56, № 3–4. С. 5–10.
2. ^aДаниленко В.В. Синтез и спекание алмаза взрывом. М.: Энергоатомиздат, 2003; ^bСакович Г.В., Комаров В.Ф., Петров Е.А. и др. // V Всесоюз. совещ. по

- детонации. Сб. докл. Т. 2. Красноярск, 1991. С. 272; ^cДолматов В.Ю. // Успехи химии. 2001. Т. 70, № 7 С. 607; ^дТр. науч. сем. по нанометрическим алмазам. Киев, 2002 // Сверхтвердые материалы. 2002. №6.
3. *Шевердов В.П., Давыдова В., Насакин О., Марьясов М., Лодочникова О.* Этен-1,1,2,2-тетракарбонитрил и метанол в реакции метилирования третичных аминов до четвертичных аммониевых соединений 1,1-дициано-2-метокси-2-оксоэтан-1-ида. Синлетт, 2018. DOI: 10.1055/s-0037-1610343.
 4. *Гонсалвес К.* Наноструктуры в биомедицине. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2012, 519 с.
 5. *Миддлтон В.Дж.* Химия цианоглеродов. IV.1 Ацетали дицианокетена / *В.Дж. Миддлтон, В.А. Энгельхардт* // Журн. Американского хим. общества. 1958. Vol. 80, N 11. С. 2788–2795. DOI: 10.1021/ja01544a054.

ПОЛУЧЕНИЕ 2H-ТИОПИРАНОВ ИЗ 3-(N-ПИРРОЛИДИНИЛ)ПРОП-2-ЕН-1-ОНОВ

И.Д. Карпов, М.В. Старостин, К.Л. Овчинников

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

Ярославский государственный технический университет

Исследована реакция сульфидирования 3-(N-пирролидинил)проп-2-ен-1-онов различными диенофилами с образованием 2H-тиопиранов. Показано, что эти процессы могут быть проведены одnoreакторным способом. Установлено, что 3-(N-пирролидинил)проп-2-ен-1-тионы не взаимодействуют с электроноизбыточными диенофилами.

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

PREPARATION OF 2H-THIOPYRANS FROM 3-(N-PYRROLIDINYL)PROP-2-ENE-1-ONES

I.D. Karpov, M.V. Starostin, K.L. Ovchinnikov

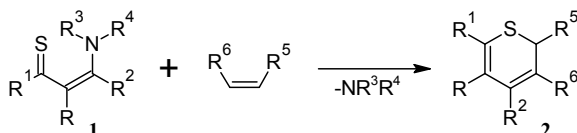
Scientific Supervisor – K.L. Ovchinnikov, Candidate of Chemical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The thionation reaction of 3-(N-pyrrolidinyl)prop-2-en-1-ones and the Diels-Alder reaction of 3-(N-pyrrolidinyl)prop-2-en-1-thiones and various dienophiles with the formation of 2H-thiopyrans have been studied. It has been shown that these processes can be carried out in a one-pot manner. It has been established that 3-(N-pyrrolidinyl)prop-2-en-1-thiones do not interact with electron-rich dienophiles.

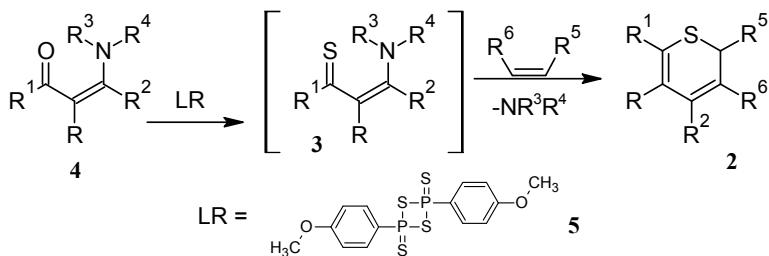
Keywords: synthesis of 2H-thiopyrans, thionation of enamines, hetero-Diels-Alder reaction, one-pot synthesis

Удобным методом получения 2H-тиопиранов **2** является их синтез из енаминотиокетонов **1**, выступающих в качестве диенов [1]:



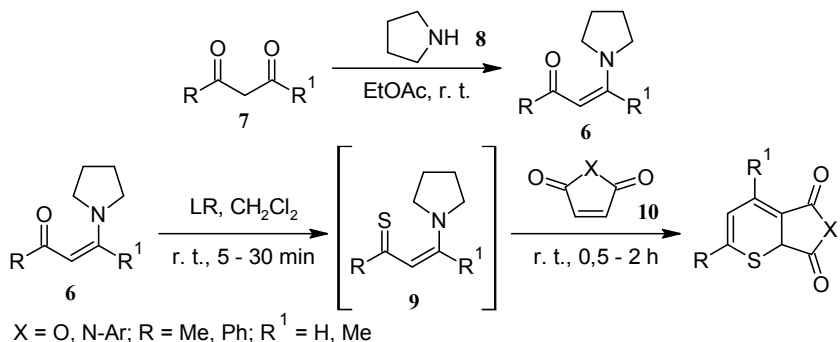
Реакция имеет прямые электронные требования [2] и протекает с электронодефицитными диенофилами. Какие-либо сведения о введении в эту реакцию электроноизбыточных диенофилов отсутствуют.

В большинстве литературных источников описаны методы, предполагающие дополнительную стадию синтеза исходных енамиотиокетонов **3** сульфидированием енаминокетонов **4** [3], однако в [4, 5] показана возможность проведения одnoreакторного синтеза тиопиранов **2** непосредственно из енаминокетонов **4**:



Ввиду экспериментальной простоты реализации одnoreакторных синтезов актуальной задачей является подбор условий их проведения и расширение круга вводимых в реакцию веществ.

Нами показано, что 3-(N-пирролидинил)проп-2-ен-1-оны **6**, легко получаемые из 1,3-дикарбонильных соединений **7** и пирролидина **8**, успешно могут быть сульфидированы реагентом Лавессона **5** и введены в реакцию Дильса-Альдера без выделения образующихся тиокетонов **9**:



Реакции сульфидирования и диенового синтеза с электронодефицитными диенофилами **10**, такими как ангидрид и имиды малеиновой кислоты мягко протекают при комнатной температуре. Мы также установили, что с менее активными (циннамаль, диэтилмалеат), а также с элек-

троноизбыточными диенофилами (норборнен) реакция Дильса-Альдера енаминотиокетонов **9** не идет даже при нагревании до 110 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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 2*H*-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.
2. *Ovchinnikov K. L.* Comparative quantum-chemical analysis of the reactivity of 1-phenylbut-2-en-3-tyon and 2-(*N*-pirrolidinil)pent-2-en-4-tyon as heterodiens in the Diels-Alder reaction / K.L. Ovchinnikov, I.D. Karpov, M.V. Starostin, A.V. Kolobov // *From Chemistry Towards Technology Step-By-Step*. 2021. Vol. 2, No. 4. P. 77-80. DOI: 10.52957/27821900_2021_04_77.
3. *Rasmussen J. B.* Enamine chemistry-XXVI: The [4 + 2] cycloaddition reactions of 3-amino-1-(4-nitrophenyl)-prop-2-ene-1-thione with electrophilic olefins and acetylenes / J. B. Rasmussen, R. Shabana, S.- O. Lawesson // *Tetrahedron*. 1982. №11. P. 1705-1709.
4. *Gabbutt C. D.* Enamino Ketones as Precursors of Functionalised 2*H*-Thiopyrans and Thiopyrano[2,3-*c*] - and [3,2-*b*] –benzothiopyrans / C.D. Gabbutt, J.D. Hepworth, B.M. Heron // *Journal of the Chemical Society Perkin Transactions 1*. 1992. Iss. 20. P. 2603–2608.
5. *Singh P.* Cycloaddition reactions of cross-conjugated enamionones / P. Singh, P. Sharma, K. Bisetty, M, P.Mahajan // *Tetrahedron*. 2009. Vol. 65, Iss. 41. P. 8478–8485.

СИНТЕЗ 2- И 4-ЗАМЕЩЕННЫХ 6-АРИЛ-4,5-ДИГИДРОПИРИДАЗИНОВ И ИХ ТИОНИРОВАНИЕ

Н.Н. Ларионов, М.В. Старостин, К.Л. Овчинников

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

Ярославский государственный технический университет

В данной статье рассматривается реакция тионирования 6-арил-4,5-дигидро-2H-пиридазин-3-онов и их производных, реагентом Лавессона.

Ключевые слова: реагент Лавессона, 6-арил-4,5-дигидро-2H-пиридазин-3-он, 4-бензилиден-6-арил-4,5-дигидро-2H-пиридазин-3-он, 2-бензилхлорид-4-бензилиден-6-арил-4,5-дигидро-2H-пиридазин-3-он

SYNTHESIS OF 2- AND 4-SUBSTITUTED 6-ARYL-4,5-DIHYDROPYRIDAZINONES AND THEIR THIONATION

N.N. Larionov, M.V. Starostin, K.L. Ovchinnikov

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

Yaroslavl State Technical University

This article discusses the thionation reaction of 6-aryl-4,5-dihydro-2H-pyridazin-3-ones and their derivatives with Lavesson's reagent.

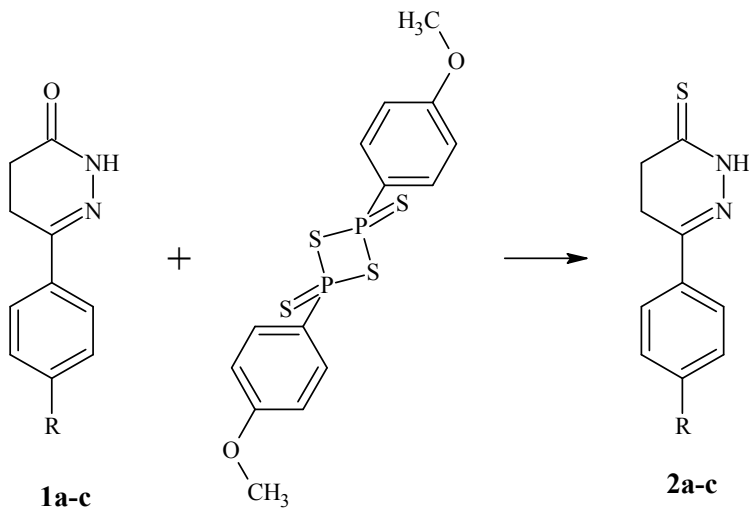
Keywords: Lavesson's reagent, 6-aryl-4,5-dihydro-2H-pyridazin-3-one, 4-benzylidene-6-aryl-4,5-dihydro-2H-pyridazin-3-one, 2-benzyl chloride--4-benzylidene-6-aryl-4,5-dihydro-2H-pyridazin-3-one

В настоящей работе рассмотрены различные способы синтеза 6-арил-4,5-дигидро-2H-пиридазин-3-тионов с различными заместителями, которые в дальнейшем можно использовать в реакции Дильса-Альдера. Тионирование 6-фенил-4,5-дигидро-2H-пиридазин-3-она мало описано в литературе [1]. Протекает реакция под действием реактива Лавессона в бензоле при 80 °С и соотношении реагентов 1:1. Помимо этого упоминается возможность проведения реакции с использованием пентасульфида фосфора (ксилол, 122 °С). Продукт очищают с помощью пере-

кристаллизации из спирта [2].

В перспективе синтезируемые 6-фенил-4,5-дигидро-2*H*-пиридазин-3-тионы могут быть субстратами в реакции *S*-ацилирования и *N*-ацилирования, исходя из используемых соединений, так же возможно использование реактива Гриньяра [3].

Процесс тионирования представляется схемой 1.



1a: R=H

1b: R=CH₃

1c: R=Cl

Схема 1

Нами был апробирован процесс тионирования по ряду 6-фенил-4,5-дигидро-2*H*-пиридазин-3-онов в среде сухого толуола с применением реагента Лавессона при 120 °С, сначала в эквимольном количестве, затем в соотношении 0,5:1 к дигидропиридазиномам (табл. 1). Очистка осуществлялась перекристаллизацией из соответствующего растворителя или флеш-хроматографией.

Соединения **3a,b** были синтезированы в изопропиловом спирте в присутствии гидроксида натрия в качестве катализатора. Выходы 40-50%.

Таблица 1. Результаты синтеза 6-арил-4,5-дигидро-2H-пиридазин-3-тионов

Соотношение L.R. к пирида- зину	1:1		0,5:1	
	Выход, %	T _{пл.} , °C	Выход, %	T _{пл.} , °C
2a	43	164-166	62	164-165,1
2b	40	204-204,7	63	203,5-204,7
2c	42	224-225	63	224-224,5

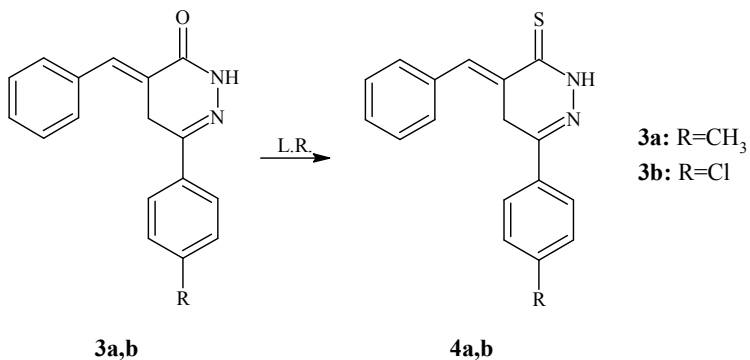


Схема 2

Тионирование проводилось в толуоле с соотношением L.R.:пиридазинон 0,5:1 при нагревании 30 минут. Очистка перекристаллизацией из изопропилового спирта. Выходы 40-45%.

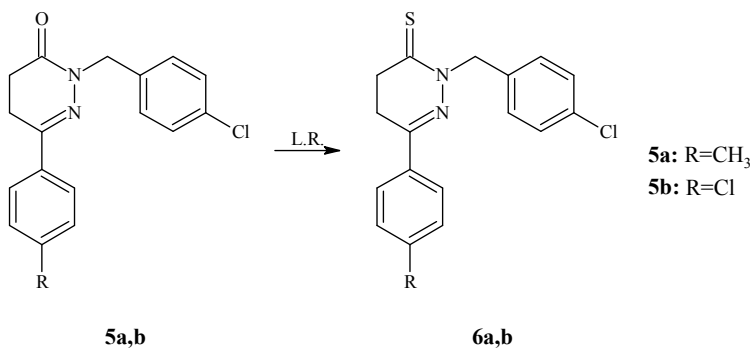
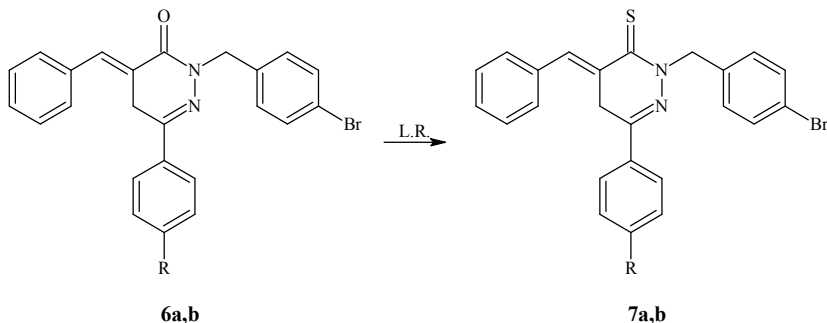


Схема 3

Соединения **5a,b** были синтезированы в ДМА в присутствии гидроксида натрия в качестве катализатора. Выходы 65-70%.

Тионирование проводилось в толуоле с соотношением L.R.:пиридазинон 0,5:1 при нагревании 120 минут. Очистка перекристаллизацией из изопропилового спирта. Выходы XX.



6a: R=CH₃

6b: R=Cl

Схема 4

Синтез соединений **6a,b** возможен постадийно с выделением промежуточного продукта или как тандемная реакция. Выход в последнем случае повышается не менее чем на 10%. Тандемная реакция проводится в изопропиловом спирте в присутствии гидроксида натрия в качестве катализатора. Выходы 40-50%

Тионирование проводилось в толуоле с соотношением L.R.:пиридазинон 0,5:1 при нагревании. Очистка перекристаллизацией из изопропилового спирта. Выходы 50-55%.

Контроль реакций проводился методом ТСХ. Анализы осуществлялись за счет ИК-спектроскопии, ЯМР ¹H спектроскопии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Studies on Organophosphorus Compounds. XXXIV. Synthesis of 2,3-dihydro-1,3,4,2-thiadiazaphospholes und thiohydrazides / A.A. El-Barbary, S. Scheiby, S.-O Lawesson [et al.] // Acta. Chemica Scandinavica. 1980. V. 34B, N. 8. P. 791-797.
2. El-hashash M.A. Biologically active thiones derived from pyridazinones / F.M. Soliman, M.S. Amine, M. Morsi // Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements. 1992. V. 69. P. 299-303.
3. Action of Grignard Reagents on 6-Arylpyridazin-3(2H)-thiones / Is-mail M. Fekry, A. M. Kaddah, A. F. Elkafrawy [et al.] // Journal für Praktische Chemie. 1988. V. 3. P. 415-420.

ГИДРОГЕЛИ КАК РЕГУЛЯТОРЫ СКОРОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ УДОБРЕНИЙ И ВОДОУДЕРЖИВАЮЩИЕ СРЕДСТВА

В.М. Лисина, А.Г. Липин

Научный руководитель – **А. Г. Липин**, д-р техн. наук, профессор

Ивановский государственный химико-технологический университет

Приведены результаты экспериментального исследования процесса получения гидрогеля на основе полиакриламида с иммобилизованным карбамидом. Установлен характер влияния режимных параметров на водоудерживающие свойства гидрогеля и кинетику выделения карбамида.

Ключевые слова: гидрогель, полиакриламид, карбамид, кинетика набухания, кинетика выделения

HYDROGELS AS REGULATORS OF RELEASE RATE OF NUTRIENTS FROM FERTILIZERS AND WATER-RETAINING AGENTS

V.M. Lisina, A.G. Lipin

Scientific Supervisor – **A.G. Lipin**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Ivanovo State University of Chemical Technology

The results of an experimental study of the process of obtaining a hydrogel based on polyacrylamide with imobilized urea are presented. The nature of the influence of the regime parameters on the water-retaining properties of the hydrogel and the kinetics of urea release has been established.

Keywords: hydrogel, polyacrylamide, urea, swelling kinetics, release kinetics

Гидрофильные полимерные материалы могут поглощать и удерживать большое количество воды. Их можно использовать как вещества, регулирующие кинетику выделения удобрений в почву. Гидрогели также используются как агенты для кондиционирования почвы, которые уменьшают количество поливов, эрозию почвы и испарение воды в жарком и сухом климате, а также улучшают качество почвы за счет снижения деградации почвы. Гидрогели с иммобилизованными в них минеральными удобрениями являются удобрениями с замедленным выделе-

нием питательных веществ. Если материал матрицы подвержен биологическому разложению, то такие удобрения считаются экологически безопасными.

В качестве материалов матрицы чаще всего используют сополимеры акриловой кислоты и акриламида, а также модифицированные крахмалы. [1]. Как правило, сначала синтезируют полимерный сорбент, затем его высушивают и измельчают. Далее насыщают целевым компонентом, помещая в раствор удобрения, после чего высушивают. Такой процесс является не технологичным.

Целью данного исследования являлось установление возможности сокращения числа стадий путем проведения процесса полимеризации в растворе удобрения.

В качестве полимерного суперсorbента выбран сшитый полиакриламид. Для его получения использовался 36%-ный водный раствор акриламида (АА). В качестве сшивающего агента применен метиленбисакриламид (МБА). Далее в реакционную массу последовательно вводили раствор карбамида и инициатор полимеризации – персульфат калия. Реакционная масса тщательно перемешивалась на магнитной мешалке. Синтез осуществляли в термостате при температурах 50–80 °С. Полученный полимерный сорбент с иммобилизованным карбамидом высушивали в естественных условиях. Далее проводились тесты на набухание и выделение карбамида в водной среде. В ходе экспериментов варьировалось соотношение акриламид: метиленбисакриламид и соотношение полиакриламид : карбамид. Получены данные о кинетике набухания сшитого полиакриламида в воде и растворе карбамида и кинетики выделения мочевины из полимерной матрицы в воде.

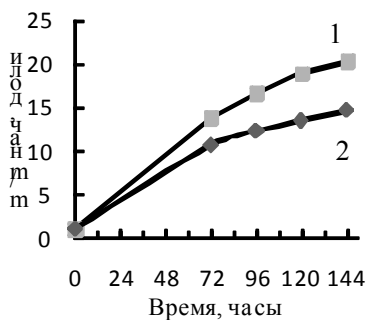


Рис. 1. Кинетика набухания полимера в воде и в растворе карбамида:

- 1 – раствор карбамида;
- 2 – дистиллированная вода

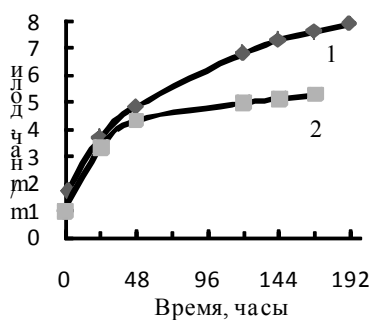


Рис. 2. Кинетика набухания полимера в воде. Соотношение МБА:АА:

- 1 - 0,27:1;
- 2 - 0,19:1

На рис. 1 приведена зависимость отношения текущей массы образца к начальной массе при набухании полимера от времени процесса. По данным рисунка можно сделать вывод о том, что насыщение полимерной матрицы в растворе карбамида происходит интенсивнее, чем в дистиллированной воде.

Снижение концентрации МБА в реакционной смеси, в исследованном диапазоне концентраций, приводит к уменьшению водопоглощающей способности полимера, что иллюстрируют графики рис. 2.

График рис. 3 показывает долю выделившегося из полимерной матрицы карбамида при выщелачивании образца в воде. Имеет место снижение скорости выделения карбамида по сравнению с обычным удобрением.

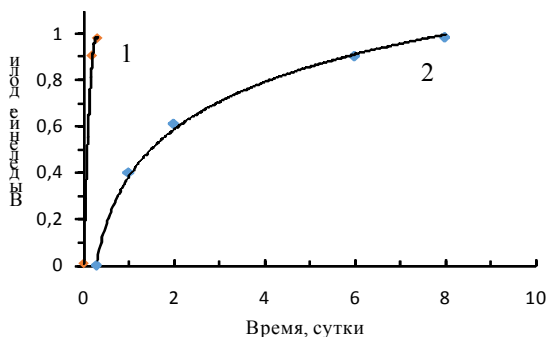


Рис. 3. Кинетика выделения карбамида:

1 – гранулированный карбамид;
2 – из полимерной матрицы

Исследования показали, что такие полимерные матрицы могут быть использованы как агенты, удерживающие воду и удобрения пролонгированного действия. Дальнейшей целью исследования является определение технологических параметров, обеспечивающих максимальную удерживающую способность полимерной матрицы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bilal Beig, Muhammad Bilal Khan Niazi, Zaib Jahan, Arshad Hussain, Munir Hussain Zia & Muhammad Taqi Mehran Coating materials for slow release of nitrogen from urea fertilizer: a review / Journal of Plant Nutrition, 2020. V. 43:10, p.1510-1533.

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВЕЩЕСТВ ФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ В ОБРАЗЦАХ КОФЕ

Л.Н. Назарова, 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 методом фотометрии содержания веществ фенольной природы в различных образцах кофе в пересчете на аскорбиновую кислоту. Установлено, что количество полифенолов в исследуемых образцах варьируется от 231 до 422 мг/100 г, причем наибольшее количество фенольных соединений содержится в кофе сублимированного типа.

Ключевые слова: фотометрия, фенольные соединения, аскорбиновая кислота, кофе

PHOTOMETRIC CONTENT DETERMINATION PHENOLIC SUBSTANCES IN COFFEE SAMPLES

L.N. Nazarova, N.N. Yashchenko, S.V. Zhitar, E.G. Zinovjeva

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

I.N. Ulyanov Chuvash State University

The paper presents the results of determining the content of phenolic substances in various coffee samples by photometry in terms of ascorbic acid. It has been established that the amount of polyphenols in the studied samples varies from 231 to 422 mg/100 g, with the largest amount of phenolic compounds found in freeze-dried coffee.

Keywords: photometry, phenolic compounds, ascorbic acid, coffee

Кофе активно используется человеком в качестве напитка и имеет в настоящее время большую популярность во всем мире. Одним из важнейших показателей его качества является содержание фенольных соединений. Исходя из литературных данных, полифенолы кофе представлены, главным образом, такими соединениями, как хлорогеновые кислоты, придающими окраску, и танинами, от содержания которых зависит вкус напитка. Известно, что фенольные соединения обладают антиоксидант-

ной способностью. Препараты на основе фенольных соединений используют в качестве антимикробных, противовоспалительных, диуретических средств и др. [1-4]. Целью данной работы является фотометрическое определение суммы фенольных соединений в кофе популярных марок различных производителей. В качестве объектов для изучения были выбраны образцы кофе семи наименований торговых марок «Черная карта «Gold» (ООО «Штраус»), «NESCAFE GOLD» (ООО «Нестле Кубань»), «MacCoffee «Gold» (ООО «ГРАНД-НН»), «MIGEL» (ООО «Санги»), «NESCAFE CLASSIC» (ООО «Нестле Кубань»). Фотометрическое определение 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 0,01 мг/мл наблюдался максимум поглощения при длине волны 280 нм, что характерно для соединений фенольной природы. Результаты фотометрического анализа в пересчете на аскорбиновую кислоту представлены в таблице.

Таблица 1. Результаты определения суммы полифенольных соединений в образцах кофе

Наименование кофе	Содержание флавоноидов, мг/100 г	
	$X \pm \Delta X$	$S_r, \%$
Черная карта	422±2	0,56
Nescafe Gold	388±1	0,38
MacCoffee Gold	344±2	0,66
Jacobs Monarch	312±3	1,11
Tchibo Gold Selection	251±2	0,89
Nescafe Classic	250±1	0,54
MIGEL	231±1	0,56

Здесь X – среднее значение содержания полифенолов в пробе, ΔX – доверительный интервал, S_r – относительное отклонение.

По результатам определений содержание полифенолов в исследуемых образцах варьируется от 231 до 422 мг/100 г, причем наибольшее количество фенольных соединений содержится в кофе сублимированного типа, а именно марки «Черная карта», а наименьшее – в кофе порошкообразного типа «MIGEL». По-видимому, технология производства сублимированного типа кофе позволяет сохранить наибольшее количество полифенольных соединений по сравнению с технологией производства кофе-порошка.

Таким образом, метод фотометрии пригоден для определения суммы фенольных соединений в образцах кофе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Цюпко Т.Г.* Спектрофотометрическая оценка железовосстанавливающей 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, No1. 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 // *Современные синтетические методологии для создания лекарственных препаратов и функциональных материалов» (MOSM 2020): IV Междунар. науч.-практ. конф.: сб. тез. Доп. том. (Екатеринбург, 16-20 ноября 2020 г.). Екатеринбург: ИП Шестакова Е.В., 2020. DR-74. С.76.*
4. *Сорокина О.Н.* Спектрофотометрическое определение суммарного содержания флавоноидов в лекарственных препаратах растительного происхождения // *Известия Саратовского ун-та. Новая серия. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2013. №3. С. 8-11.

УДК 544.6

ИЗУЧЕНИЕ ХЕМО- И БИОСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ КАЛИЙ, НАТРИЙ И КАЛЬЦИЙ ИОНОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЯХ

У.В. Носкова, П.И. Зырянова, Е.В. Скорб

Научный руководитель – **Е.В. Скорб**, канд. хим. наук, профессор

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург

Рассматривается использование углеродного волокна для создания ионо-селективных электродов для определения K^+ , Ca^{2+} , Na^+ . Такой подход помогает создавать чувствительные, удобные и простые в использовании электроды для многофункциональной платформы.

***Ключевые слова:** ионселективные электроды, полиэлектролитные сборки, биосенсоры*

RESEARCH OF CHEMO- AND BIOSENSOR SYSTEMS FOR DETECTING POTASSIUM, SODIUM AND CALCIUM IONS IN BIOLOGICAL FLUIDS

U.V. Noskova, P.I. Zyryanova, E.V. Skorb

Scientific Supervisor - **E.V. Skorb**, Candidate of Chemical Sciences,
professor

National Research University ITMO, Saint-Petersburg

In this research we use carbon fiber to create ion-selective electrodes for sensing K^+ , Ca^{2+} , Na^+ . This approach helps us to make sensitive, convenient, and easy to use electrodes for multipurpose platform.

***Keywords:** ion-selective electrodes, polyelectrolytes, biosensors*

Разработка сенсорной системы мониторинга физиологического состояния человека необходима для повышения качества уровня жизни населения и перехода к персонализированной медицине. В частности, в последнее время повышенный интерес возникает к созданию универсальной платформы для обнаружения различных ионов и химических соединений в биожидкостях. По мере роста стоимости здравоохранения и старения населения в мире возникает потребность в персонализированных носимых устройствах для постоянного мониторинга состояния здоровья пациентов, пока пациенты находятся вне больницы. В этом случае носимые биосенсоры являются перспективными устройствами, которые могут предоставить достаточную информацию для мониторинга состояния здоровья и даже предварительной медицинской диагностики. Благо-

даря гибким ионоселективным электродам на основе углеродного волокна мы станем на шаг ближе к созданию такой платформы с неинвазивным методом сбора данных, которая поможет развитию персонализированной медицины.

Целью работы является разработка электродной системы, селективной к ионам натрия кальция и калия. Для детектирования перечисленных ионов выбраны ионоселективные электроды (ИСЭ). Основными преимуществами ИСЭ являются неизменность состава пробы и стабильность ионных взаимодействий при измерениях. Кроме того, время установления равновесных потенциалов у таких электродов колеблется от долей секунды до нескольких минут, что дает возможность следить за изменением ионного состава биологических жидкостей в реальном времени.

В качестве основы ИСЭ использовали углеродное волокно. Это позволило сделать электроды более гибкими и доступными. Модификацию углеродного волокна проводили с помощью полиэлектролитов (PEI и PSS) методом послойного наслаивания (МПО). Данная технология нанесения полиэлектролитных слоев позволила контролировать толщину модифицирующего слоя, что положительно сказывалось на воспроизводимости экспериментов. После нанесения полиэлектролитов сборку завершили нанесением катионообменной мембраны, которая включает ионофор, обратимо связывающийся с определенным ионом [1].

Использование полиэлектролитных слоев в сочетании со слоем углерода на электроде позволило создать электроды с псевдожидкостным электродом сравнения, что повысило стабильность датчиков, по сравнению с полностью твердотельными контактными электродами на основе проводящих полимеров. С практической точки зрения основным недостатком многих проводящих полимеров, используемых в качестве материалов с твердым контактом, является их чувствительность к свету и недостаточная стабильность в широком диапазоне потенциалов [2]. В ходе работы значения потенциала непрерывно контролировалось с помощью потенциостата. Все изменения оценивались относительно электродов сравнения.

В результате проведенного исследования было обнаружено, что средняя чувствительность ИСЭ в диапазоне от 10^{-4} до 1 М очень близка к значению Нернста, что в свою очередь говорит о качественной работе электродов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ElectroSens Platform with a Polyelectrolyte-Based Carbon Fiber Sensor for Point-of-Care Analysis of Zn in Blood and Urine / K.G. Nikolaev [et al.] // ACS omega. 2020. Vol. 5, №30. P. 18987–18994.
2. Thin and flexible ion sensors based on polyelectrolyte multilayers assembled onto the carbon adhesive tape / A.A. Stekolshchikova [et al.] // ACS omega. 2019. Vol. 4, № 13. P. 15421-15427.

УДК 547.712.25

ПОЛУЧЕНИЕ 2-[2-ФЕНИЛ-3-АЦЕТИЛАЗИРИДИН-1-ИЛ]- 1H-ИЗОИНДОЛ-1,3(2H)-ДИОНА

А.Е. Решетникова, Я.И. Бондарчук, К.В. Реут, В.В. Сиднева

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

Ярославский государственный технический университет

В данной работе рассматривается способ получения 2-[2-фенил-3-ацетилазиридин-1-ил]-1H-изоиндол-1,3(2H)-диона, который обладает потенциальной биологической активностью.

Ключевые слова: азиридинирование, окислительное присоединение, N-аминоазиридинирование, биологическая активность

PREPARATION OF 2-[2-PHENYL-3-ACETYLAZYRIDINE-1- YL]-1H-ISOINDOLE-1,3(2H)-DIONE

A.E. Reshetnikova, Ya.I. Bondarchuk, K.V. Reut, V.V. Sidneva

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

Yaroslavl State Technical University

This paper considers a method for obtaining 2-[2-phenyl-3-acetylaziridine-1-yl]-1H-isoindol-1,3(2H)-dione, which has potential biological activity.

Keywords: aziridination, oxidative addition, N-aminoaziridination, biological activity

Разработка современных лекарственных препаратов – это сложный многостадийный процесс. Одним из главных этапов этого процесса является выявление биологической активности структурных фрагментов молекул синтезируемого вещества. Лекарственные вещества, являющиеся производными азиридина, оказывают цитостатическое действие, тормозящее развитие раковых клеток [1]. Также высвобождение энергии деформации при расщеплении азиридинового кольца является основной движущей силой для большого числа реакций, что делает азиридины особенно полезными в качестве синтетических предшественников функциональных азотных гетероциклов и ациклических соединений. Поэтому

разработка новых эффективных методов синтеза азиридинов по-прежнему остается актуальным направлением химических исследований [2].

Целью данной работы является получение 2-[2-фенил-3-ацетилазиридин-1-ил]-1*H*-изоиндол-1,3(2*H*)-диона.

Синтез осуществляли методом окислительного фталимидазиридинирования [3]. Азиридин (3) получали при взаимодействии *N*-аминофталимида (2) с бензальацетоном (рис. 1). В качестве окислителя использовали тетраацетат свинца (Pb(OAc)₄).

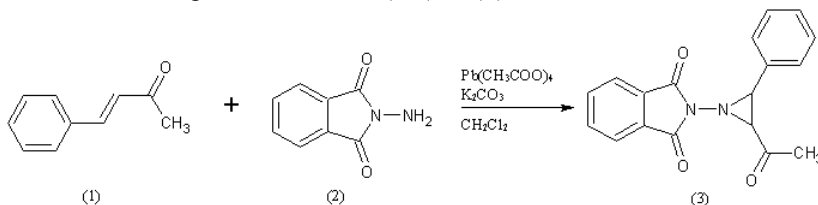


Рис. 1 Схема реакции получения 2-[2-фенил-3-ацетилазиридин-1-ил]-1*H*-изоиндол-1,3(2*H*)-диона

Реакцию проводили при соотношении реагентов, указанных в табл. 1.

Таблица 1. Условия проведения синтеза

Соотношение Бензальацетон:PhthNNH ₂ :Pb(OAc) ₄ 1:1:1,2					
	<i>m</i> , г	<i>M</i> , г/моль	<i>n</i> , моль	ρ , г/мл	<i>V</i> , мл
Бензальацетон	0,74	119,16	0,0062	0,987	0,75
<i>N</i> -аминофталимид	0,9	146,189	0,0062	–	–
Тetraацетат свинца Pb(CH ₃ COO) ₄	2,75	443,38	0,007	–	–
Карбонат калия K ₂ CO ₃	4,28	138,21	0,031	–	–
Дихлорметан CH ₂ Cl ₂	–	84,9	–	–	12

Строение синтезированного соединения подтверждено методом ИК-спектроскопии.

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. Augeri D.J., Chamberlin A.R. Stable nitrogen pyramids. N-Aminoaziridines / Brois S.J. // Tetrahedron Letters. 2016. Vol. 76. P. 1445-1475.
3. Kuznetsov M.A. Oxidative aminoaziridination: past, present, and future / L.M. Kuznetsova, A.S. Pankova // Tetrahedron Letters. 2016. Vol. 57. P. 3575-3585.

**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

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

Ярославский государственный технический университет

Взаимодействие ангидрида (2R,3R,4R)-4-фенил-6-метил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-2,3-дикарбоновой кислоты с ароматическими аминами протекает с высокой регио- и стереоселективностью.

Ключевые слова: (2R,3R,4R)-6-метил-4-фенил-2-(арилкарбамоил)-3,4-дигидро-2H-тиопиран-3-карбоновые кислоты, ангидрид (2R,3R,4R)-4-фенил-6-метил-3,4-дигидро-2H-тиопиран-2,3-дикарбоновой кислоты, ацилирование, ароматические амины

**ACYLATION OF AMINES WITH ANHYDRIDE OF
4-PHENYL-6-METHYL-3,4-DIHYDRO-2H-THIOPYRANE-2,3-
DICARBOXYLIC ACID**

M.V. Starostin, E.A. Merkulova, A.V. Kolobov

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

Yaroslavl State Technical University

The reaction of anhydride of (2R,3R,4R)-4-phenyl-6-methyl-3,4-dihydro-2H-thiopyran-2,3-dicarboxylic acid with aromatic amines proceeds with high regio- and stereoselectivity.

Keywords: (2R,3R,4R)-6-methyl-4-phenyl-2-(arylcabamoyl)-3,4-dihydro-2H-thiopyran-3-carboxylic acids, anhydride (2R,3R,4R)-4-phenyl-6-methyl-3,4-dihydro-2H-thiopyran-2,3-dicarboxylic acid, acylation, aromatic amines

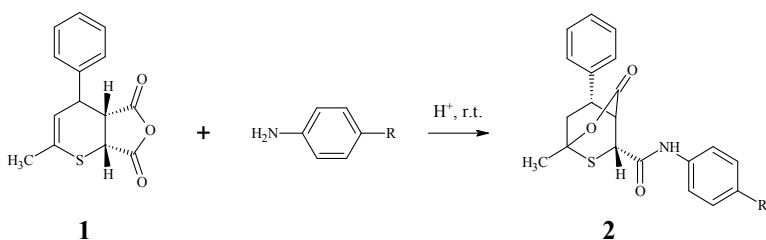
Тиопираны представляют интерес в качестве полупродуктов в синтезе практически значимых соединений. Они могут являться исходными соединениями для синтеза биологически активных веществ: противораковых, антибактериальных, антиатеросклеротических препаратов [1].

Нами был разработан one pot синтез 3,4-дигидро-2*H*-тиопиранов гетерореакцией Дильса-Альдера [2]. Были получены продукты их бромирования [3], окислительного присоединения *N*-аминофталимида к 3,4-дигидро-2*H*-тиопиранам, их моно- и диоксидам [4].

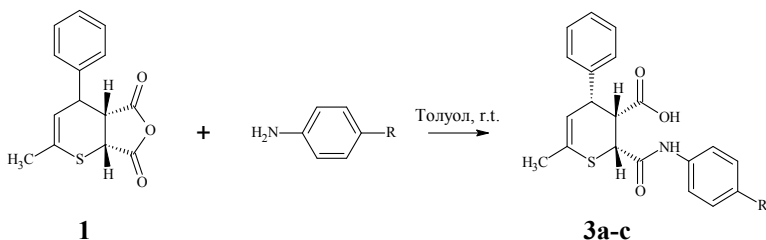
В связи со значимостью тиопиранов, актуальны исследования о дальнейшей функционализации данных структур.

В настоящей работе мы исследовали поведение ангидрида 4-фенил-6-метил-3,4-дигидро-2*H*-тиопиран-2,3-дикарбоновой кислоты **1** [2] в реакциях с ароматическими аминами.

Ацилирование аминов ангидридом **1** проводили в толуоле, т.к. предварительные эксперименты показали, что кислая среда способствует образованию лактонов **2**.



Результаты эксперимента представлены в таблице 1.



R = CH₃ (**3a**), OH (**3b**), OCH₃ (**3c**)

Результаты ПСА полученных продуктов свидетельствуют о выделении одного из возможных региоизомеров. Ацилирование происходит по карбоксильной группе, находящейся в положении 2. Интересен так же и стереохимический состав продуктов. Во всех случаях были выделены лишь продукты с относительной конфигурацией 2*R*,3*R*,4*R*.

**Таблица 1. Результаты синтеза
(2*R*,3*R*,4*R*)-6-метил-4-фенил-2-(арилкарбамоил)-3,4-
дигидро-2*H*-тиопиран-3-карбоновых кислот 3а-с (толуол, 20 °С, 30 мин)**

R	Выход, %	Тпл., °С	ИКС, см ⁻¹ :
CH ₃ (3а)	88	150-192 ^(а)	3265 (NH), 3029 (=CH), 2730, 2667, 2562 (OH), 2856, 2919, 2971 (C-H в CH ₃), 1713 (C=O кислоты), 1663, 1521 (C=O амида), 1602, 1644 (C-C Ar), 1242 (OC-OH), 987 (C-OH), 699 (монозамещение Ar), 811 (дизамещение Ar)
OH (3б)	33	166-187 ^(а)	см ⁻¹ : 3348 (OH), 3256 (NH), 3026 (=CH), 2730, 2610, 2518 (OH), 2861 (C-H в CH ₃), 1722 (C=O кислоты), 1658, 1519 (C=O амида), 1621, 1560 (C-C Ar), 1242 (OC-OH), 1189 (C _{Ar} -OH), 987 (C-OH), 703, 783 (монозамещение Ar), 836 (дизамещение Ar)
OCH ₃ (3с)	79	150-190 ^(а)	см ⁻¹ : 3262 (NH), 3010 (=CH), 2700, 2656, (OH), 2838, 2911, 2968 (C-H в CH ₃), 1716 (C=O кислоты), 1664, 1517 (C=O амида), 1611, (C-C Ar), 1250, 1030 (C _{Ar} -O-CH ₃), 983 (C-OH), 698 (монозамещение Ar), 826 (дизамещение Ar).

(а) с разложением (образование лактонов и/или имидов).

Экспериментальная часть

Общая методика синтеза (2*R*,3*R*,4*R*)-6-метил-4-фенил-2-(арилкарбамоил)-3,4-дигидро-2*H*-тиопиран-3-карбоновых кислот

3а-с. Раствор (3,846 ммоль) амина в толуоле приливали при перемешивании при комнатной температуре к раствору (3,846 ммоль) ангидрида 4-фенил-6-метил-3,4-дигидро-2*H*-тиопиран-2,3-дикарбоновой кислоты в толуоле. Через 30 минут образовавшийся осадок отфильтровывали, промывали толуолом. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таким образом, нами было показано, что ангидрид (2*R*,3*R*,4*R*)-4-фенил-6-метил-3,4-дигидро-2*H*-тиопиран-2,3-дикарбоновой кислоты взаимодействует с ароматическими аминами в нейтральной среде с получением (2*R*,3*R*,4*R*)-6-метил-4-фенил-2-(арилкарбамоил)-3,4-дигидро-2*H*-тиопиран-3-карбоновых кислот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Rajabi M.* Antiproliferative Activity of Novel Derivative of Thiopyranon Breast and Colon Cancer Lines and DNA Binding / M. Rajabi, M.A. Khalilzadeh, J. Mehrzad // *DNA Cell Biol.* 2012. Vol. 31, No. 1. P.128-134.
2. The antimicrobial natural product chuangxinmycin and Some synthetic analogues are potent and selective inhibitors of bacterial tryptophanyl tRNA synthetase / M.J. Brown, P. S. Carter, A. E. Fenwick, A.P. Fosberry, D.W. Hamprecht, M.J. Hibbs, R.L. Jarvest, L. Mensah, P.H. Milner, P.J. O'Hanlon, A.J. Pope, C.M. Richardson, A. West, D.R. Witty. // *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2002. Vol. 12. P. 3171–3174.
3. ACAT inhibitors derived from hetero-Diels-Alder cycloadducts of thioaldehydes / R.G. Wilde, J.T. Billheimer, S.J. Germain, E.A. Hausner, P.C. Meunier, D.A. Munzer, J.K. Stoltenborg, P.J. Gillies // *Bioorg. Med. Chem.* 1996. Vol. 4, No. 9. P. 1493-1513.
4. *Merkulova E.A.* A convenient synthesis of 3,4-dihydro-2*H*-thiopyran-2,3-dicarboxylic acid derivatives // E.A. Merkulova, A.V. Kolobov, K.L. Ovchinnikov // *Rus. Chem. Bull., Int. Ed.* 2019. Vol. 68, No. 3. P. 606-609.
5. Непредельные карбоновые кислоты в одноконтурном синтезе новых производных 3,4-дигидро-2*H*-тиопирана / Е.А. Меркулова, А.В. Колобов, К.Л. Овчинников, В.Н. Хрусталева, В.Г. Ненайденко // *Химия гетероциклических соединений.* 2021. Вып. 57, Н. 3. с. 245–252.
6. Bromination of 3,4-dihydro-2*H*-thiopyran derivatives \ E.A. Merkulova, A.V. Kolobov, K.L. Ovchinnikov, O.A. Belyaeva, V.V. Plakhtinskii, V.G. Nenajdenko // *Chemistry of Heterocyclic Compounds.* 2021. Vol. 57, No. 7/8. P. 837–840.
7. Oxidative addition of *N*-aminophthalimide to 3,4-dihydro-2*H*-thiopyrans, their *S*-oxides, and *S,S*-dioxides / E.A. Merkulova, A.V. Kolobov, M.A. Kuznetsov, D.V. Spiridonova, A.S. Pankova // *In Press Tetrahedron Letters*, Available online 8 March 2022, 153715.

УДК 547.759.4

СИНТЕЗ 2-ФЕНИЛ-6-ВИНИЛИНДОЛИЗИНА

Н.С. Сухоносик, Е.О. Щелкунова, В.В. Сиднева, Е.Р. Кофанов

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

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается способ получения 2-фенил-6-винилиндолизина реакцией Чичибабина.

Ключевые слова: 6-винилиндолизин, реакция Чичибабина

SYNTHESIS OF 2-PHENYL-6-VINYLLINDOLYSINE

N.S. Sukhonosik, E.O. Shchelkunova, V.V. Sidneva, E.R. Kofanov

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

Yaroslavl State Technical University

The paper examines a method for obtaining 2-phenyl-6-vinylindolizine by the Chichibabin reaction.

Keywords: 6-vinylindolizine, Chichibabin reaction

Гетероциклические соединения обладают разнообразной биологической активностью и применяются в различных областях науки и производства.

Целью данной работы является получение 2-фенил-6-винилиндолизина.

Индолизины - конденсированные системы, содержащие узловой атом азота, обладают антибактериальной, противовоспалительной активностью [1] и могут применяться в качестве активных фармацевтических субстанций в производстве лекарственных препаратов. Также индолизины могут применяться в качестве красителей.

В ряду ароматических бициклов известны три системы с узловым атомом азота: хинолизин, индолизин и пирролизин (рис. 1). Из всех них, только индолизин в нейтральном состоянии является ароматичным, тогда как остальные два ароматичны лишь в виде катиона и аниона соответственно [2].

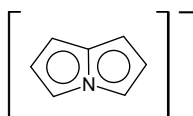
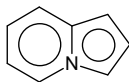
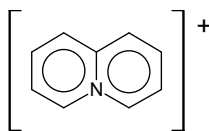


Рис. 1. Ароматические структуры катиона хинолизина, индолизина и аниона пирролизина

Индолизин представляет собой важную кольцевую систему ввиду ее сходства с индолом. Подобно индолу, он имеет делокализованную π -электронную систему, которая придает ароматичность. Следовательно, она представляет теоретический и практический интерес.

В частности, 2,6-замещенные индолизины с винильным фрагментом имеют большое значение в тонком органическом синтезе, поскольку данные соединения мало изучены и потенциально могут проявлять биологическую активность. По винильному фрагменту возможно протекание различных химических реакций таких как, например, азиридинование, для получения новых соединений, которые могут оказаться биологически активными соединениями.

В ходе данной работы был получен ранее не синтезированный 2-фенил-5-винилиндолизин. Получение индолизина осуществляли по реакции Чичибабина, заключающейся во взаимодействии 2-алкилпиридина с α -галогенкарбонильным соединением в присутствии основания.

В качестве исходных веществ использовались 2-метил-5-винилпиридин (3) и предварительно синтезированный фенацилбромид (2). Получение фенацилбромида осуществили, используя в качестве исходных соединений ацетофенон (1) и бром [3]. Реакцию проводили при температуре 40-50 °С, в качестве растворителя использовали этиловый спирт (рис. 2).

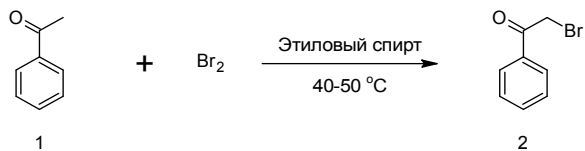


Рис. 2. Схема получения фенацилбромида

Получение 2-фенил-6-винилиндолизина осуществляли в две стадии (рис. 3).

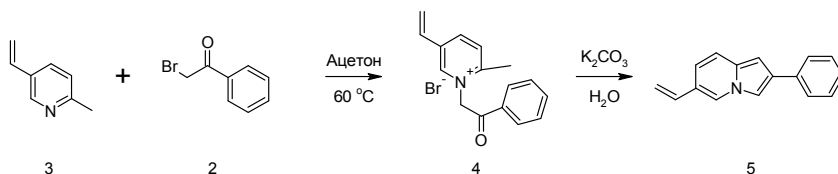


Рис. 3. Схема получения 2-фенил-6-винилиндолизина

На первой стадии осуществляли взаимодействие 2-метил-5-винилпиридина (3) с фенацилбромидом (2) реакцию осуществляли при температуре 60 °С в ацетоне. На второй стадии осуществляли циклизацию α -монозамещенной соли пиридиния (4) под действием карбоната калия [1].

Методика. Соотношение 2-метил-5-винилпиридин / фенацилбромид / карбонат калия = 1 : 1 : 1. 2-Метил-5-винилпиридин растворяли в ацетоне и добавляли фенацилбромид, реакционную смесь перемешивали 5 часов при температуре 60 °С. Выпавший осадок отфильтровали и растворили в горячей воде, после чего добавили карбонат калия и перемешивали 5 часов при температуре, не превышающей 60 °С. Полученный осадок отфильтровали. Очистку проводили перекристаллизацией из воды. Выход индолизина – 53%.

Строение полученного соединения было подтверждено ИК-спектроскопией.

Таким образом получен ранее не синтезированный 6-винил-2-фенилиндолизин по реакции Чичибабина, который в дальнейшем планируется использовать в реакции нуклеофильного присоединения по двойной связи, а именно реакции фталимидазидинирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Singh G.S. Recent progress in synthesis and bioactivity studies of indolizines / G.S. Singh, E.E. Mmatli // E. J. Med. Chem. 2011. Vol.46. P. 5237-5257.
2. Бабаев Е. Новые синтетические стратегии в химии индолизина и его аналогов: Методы синтеза и реакционная способность индолизинов и их аналогов. В 2 т. Т. 2. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 333 с.
3. Титце Л. Препаративная органическая химия: Реакции и синтезы в практической органической химии и научно-исследовательской лаборатории: пер. с нем. / Л. Титце, Т. Айхер. М.: Мир, 2013. 704 с.

УДК 547.717

СИНТЕЗ 5-АЛКЕНИЛ-1,2,4-ОКСАДИАЗОЛОВ И ПОЛУЧЕНИЕ N-АМИНОАЗИРИДИНОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Е.О. Щелкунова, Н.С. Сухоносик, В.В. Сиднева, Е.Р. Кофанов

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

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются особенности получения 3,5-дизамещенных 1,2,4-оксадиазолов, содержащих алкенильный фрагмент. Исследуется возможность получения N-аминоазиридинов на основе 5-алкенил-1,2,4-оксадиазолов.

Ключевые слова: 5-алкенил-1,2,4-оксадиазолы, азиридины, окислительное фталимидазиридинирование, N-аминоазиридины

SYNTHESIS OF N-AMINOAZIRIDINES CONTAINING 1,2,4-OXADIAZOLE MOIETY

E.O. Shchelkunova, N.S. Sukhonosik, V.V. Sidneva, E.R. Kofanov

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

Yaroslavl State Technical University

The paper examines synthesis of 3,5-disubstituted 1,2,4-oxadiazoles containing alkenyl moiety. The paper studies the possibility of N-aminoaziridine synthesis from 5-alkenyl-1,2,4-oxadiazoles.

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

Системы, содержащие более двух гетероатомов в одном цикле, обладают уникальными свойствами, в том числе ярко выраженной биологической активностью. Полигетероатомные циклические соединения имеют большое значение в медицинской химии, а также в других областях науки, техники и производства.

Целью данной работы является получение 3,5-дизамещенных 1,2,4-оксадиазолов и синтез на их основе N-аминоазиридинов.

1,2,4-Оксадиазолы – пятичленные ароматические гетероциклы, которые содержат три гетероатома, два атома азота и один кислорода. 1,2,4-Оксадиазолы широко применяются в фармацевтической промышленно-

сти. Они входят в состав противокашлевых, противовирусных, анальгетических, противовоспалительных препаратов. Было доказано, что ряд 1,2,4-оксадиазолов обладает противоопухолевой активностью.

На основе 1,2,4-оксадиазолов, содержащих алкенильный фрагмент, можно получать ряд важных органических соединений, например, таких как *N*-фталимидазиридины и *N*-аминоазиридины.

Азиридины – циклические амины; трехчленные гетероциклические соединения, содержащие два атома углерода и один атом азота. Лекарственные препараты, синтезированные на их основе, проявляют широкий спектр биологической активности. Например, азиридины являются компонентами противоопухолевых средств, таких как бензоТЭФ.

N-аминоазиридины имеют в своём строении азиридиновый и гидразинный фрагмент. Они также являются предшественниками биологически активных веществ, противоопухолевых, антибактериальных препаратов, которые используются для лечения заболеваний органов дыхательной системы. Наличие свободной NH₂-группы дает возможность для дальнейшей модификации химической структуры. Это в свою очередь позволит расширить не только терапевтический спектр лекарственных препаратов, но и позволит получать новые материалы для других областей науки, техники и производства.

В ходе данной работы был получен ряд 5-алкенил-1,2,4-оксадиазолов (3), реакцию проводили при комнатной температуре в растворе *N,N*-диметилацетамида и в присутствии КОН [1]. Исходными соединениями для синтеза были ароматические амидоксимы (1) и карбоновые кислоты (2). Синтез осуществили без промежуточного выделения *O*-ациламидоксима (рис. 1).

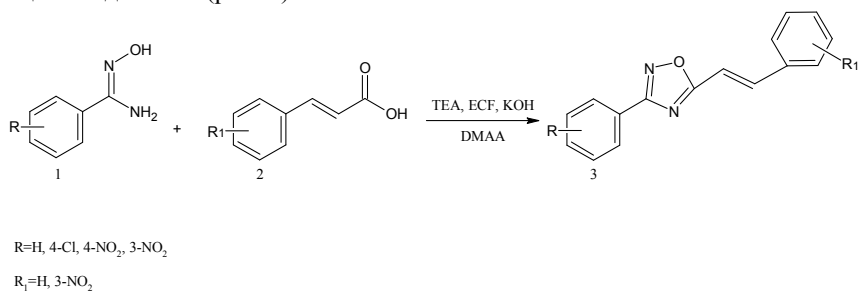


Рис. 1. Схема реакция получения 5-алкенил-1,2,4-оксадиазолов

На основе полученных 1,2,4-оксадиазолов провели синтез *N*-фталимидазиридинов (5) при температуре минус 10 °С, окисляя *N*-аминофталимид (4) тетраацетатом свинца (рис. 2) [2].

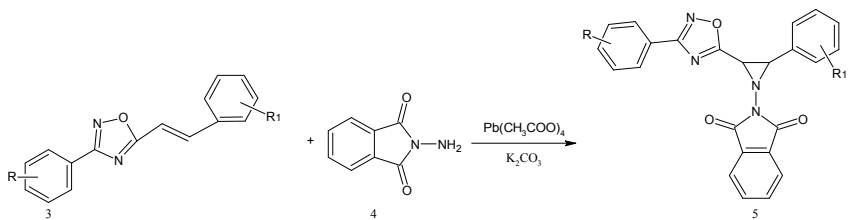


Рис. 2. Схема реакции получения *N*-фталимидазиридинов

Полученные *N*-фталимидазиридины ввели в реакцию гидразинолиза (рис. 3). Реакцию проводили в присутствии гидразингидрата в среде этилового спирта при комнатной температуре [3]. В результате реакции получены соответствующие *N*-аминоазиридины (6), которые могут быть в дальнейшем модифицированы по аминогруппе. В частности, возможно проведение реакции ацилирования уксусной кислотой по свободной NH_2 -группе.

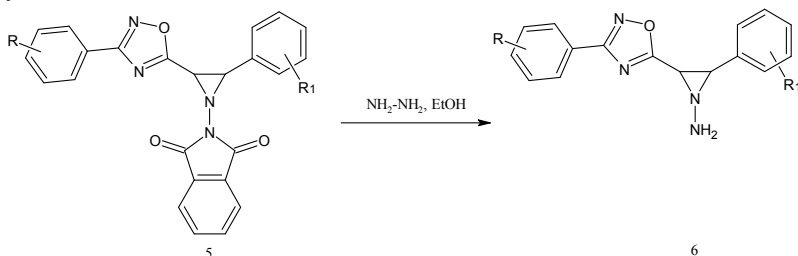


Рис. 3. Схема реакции гидразинолиза *N*-фталимидазиридинов

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. № 2754735 РФ. Способ получения 3,5-дизамещенных 1,2,4-оксадiazолов, содержащих алкенильный фрагмент / В.В.Сиднева, М.В. Тарасенко, К.В. Ревут, Е.Р. Кофанов; опубл. 06.09.2021, бюл. №25.
2. Oxidative addition of *N*-aminophthalimide to styryl-1,2,4-oxadiazoles / E.V. Beletskii, O.A. Ignatenko, M.A. Kuznetsov [et al.] // 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, серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 1. 7 с.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТВОРОВ
ПОЛИОКСОМЕТАЛЛАТОВ КАК КАТОДНЫХ
РЕДОКС-МЕДИАТОРОВ В ГИБРИДНЫХ
ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

Д.Э. Вераксо, Л.З. Абунаева, А.Е. Антипов

Научный руководитель – **Л.З. Абунаева**, ассистент

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

Приводятся исследования смеси фосфорно-ванадиево-молибденовых гетерополикислот и оценка перспективы её использования в качестве редокс-медиатора гибридного водородно-воздушного топливного элемента.

***Ключевые слова:** полиоксометаллаты, редокс-медиатор, топливный элемент, редокс-регенерируемый катод, проточная редокс-батарея.*

**PROSPECTS FOR THE USE OF SOLUTIONS
OF POLYOXOMETALATES AS CATHODIC REDOX
MEDIATORS IN HYBRID FUEL CELLS**

D.E. Verakso, L.Z. Abunaeva, A.E. Antipov

Scientific Supervisor – **L.Z. Abunaeva**, Assistant

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

Studies of a mixture of phosphomolybdovanadate polyoxometalates and an assessment of the prospects for its use as a redox mediator of a hybrid hydrogen-air fuel cell are presented.

***Keywords:** polyoxometalates, redox mediator, fuel cell, redox regenerated cathode, flowing redox battery.*

Водородно-воздушный топливный элемент (ТЭ) является одним из перспективных видов химических источников тока (ХИТ). Однако, несмотря на большое количество преимуществ, данный ХИТ обладает существенным недостатком, таким как использование дорогостоящих катализаторов для проведения целевой катодной реакции. Избежать применения в ТЭ катализатора возможно с помощью редокс-медиатора. В качестве редокс-медиаторов могут выступать растворы полиоксометалла-

тов (ПОМ), принцип действия которых заключается в возможности электрохимического восстановления без значительных перенапряжений на поверхности некаталитических катодов с последующим химическим окислением кислородом в объеме отдельного реактора. Итак, путем замены катодной части привычного водородно-воздушного ТЭ на катод с применением редокс-медиатора, возможно снизить расходы на изготовление данного вида ХИТ.

В работе исследуются свойства смеси фосфорно-ванадиево-молибденовых гетерополикислот (ФМ-ПОМ) и проводится оценка перспективы ее использования в качестве редокс-медиатора с катодной стороны гибридного водородно-воздушного топливного элемента.

Согласно патенту [1] была синтезирована смесь фосфорно-ванадиево-молибденовых гетерополикислот состава $H_{3+n}PnMo_{12-n}VnO_{40}$ со средним значением $n = 1.8$. Оценка свойств полученного состава в качестве катодного редокс-медиатора производилась в ходе серии испытаний методом циклической вольтамперометрии, а также испытаний в разрядной ячейке.

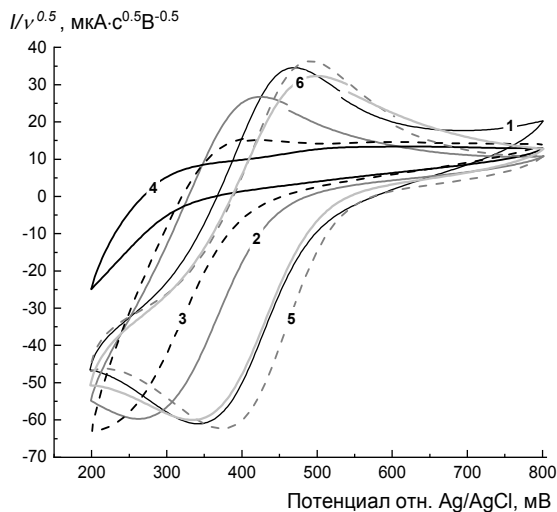


Рис. 1. Циклические вольтамперограммы ФМ-ПОМ в универсальной буферной смеси:
 1 - pH 1.81; 2 - pH 2.56; 3 - pH 2.39; 4 - pH 4.35;
 5 - 0.1 M H_3PO_4 ; 6 - 0.1 M H_2SO_4

Анализ полученных при различных значениях pH и скоростях развертки потенциала циклических вольтамперограмм показал, что электро-

химическое поведение ФМ-ПОМ определяется редокс-парой V^{+4}/V^{+5} . Также наблюдается существенная зависимость редокс-поведения ФМ-ПОМ от величины pH. Таким образом, повышение pH смещает формальный потенциал реакции в катодную сторону, что, в свою очередь, может отрицательно сказываться на работоспособности редокс-медиатора.

Также были проведены испытания полученной смеси ФМ-ПОМ в гибридной разрядной ячейке. Показано, что удельная разрядная мощность такого элемента достигает значений в 30.3 и 34.9 мВт/см² при температуре 25 и 50 °С соответственно. Максимальный ток регенерации наблюдается для полностью восстановленного ФМ-ПОМ и составляет 0.7 А.

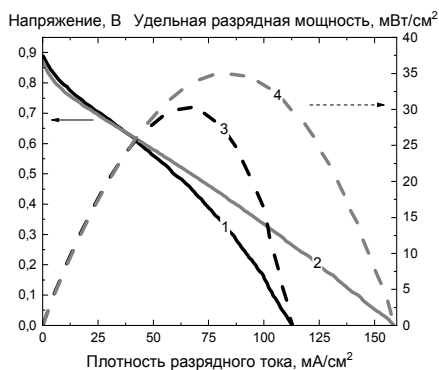


Рис. 2. Вольтамперные и ваттамперные характеристики ячейки МЭБ гибридного ТЭ, использующего раствор ФМ-ПОМ, измеренные линейной разверткой потенциала от НРЦ до 5 мВ при скорости развертки 20 мВ/с:

- 1 – вольтамперная характеристика при температуре католиита 25 °С;
- 2 – вольтамперная характеристика при температуре католиита 50 °С;
- 3 – ваттамперная характеристика при температуре католиита 25 °С;
- 4 – ваттамперная характеристика при температуре католиита 50 °С.

Результаты исследования подтверждают возможность использования синтезированного ФМ-ПОМ в качестве редокс-медиатора гибридного топливного элемента.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ (Соглашение № 075-15-2021-458, внутренний номер МД-3844.2021.1.3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Synthesis of polyoxometalates: pat. WO 2015/097459.

**ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО ПОТЕНЦИАЛА
ПОЛЫНИ ГОРЬКОЙ, ПОЛЫНИ ОБЫКНОВЕННОЙ
И ЗОЛОТАРНИКА, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ
НА ТЕРРИТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

С.С. Воронова, В.В. Ларина, А.Д. Попов, С.А. Сухих

Научный руководитель – **С.А. Сухих**, канд. техн. наук

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

*В данной работе были изучены составы, а также антиоксидантная активность экстрактов растений из семейства астровые – полыни горькой (*Artemisia absinthium*), полыни обыкновенной, или чернобыльника (*Artemisia vulgaris*), и Золотарника (*Solidago sp.*).*

***Ключевые слова:** *Artemisia absinthium, Artemisia vulgaris, Solidago sp., антиоксидантная активность, фенольные соединения в экстрактах растений**

**STUDY OF THE ANTIOXIDANT POTENTIAL OF ARTEMISIA
ABSINTHIUM, ARTEMISIA VULGARIS AND SOLIDAGO SP.,
GROWING ON THE TERRITORY OF THE KALININGRAD
REGION**

S.S. Voronova, V.V. Larina, A.D. Popov, S.A. Sukhikh

Scientific Supervisor – **S.A. Sukhikh**, Candidate of Technical Sciences

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

*In this article were learning compositions, which include phenolic compound, and anti-oxidative activity of herbs extracts of *Artemisia absinthium, Artemisia vulgaris, Solidago sp.**

***Keywords:** *Artemisia absinthium, Artemisia vulgaris, Solidago sp., anti-oxidative activity of herbs extracts, phenolic compounds in herbs extracts**

Получение из растительного сырья биологически активных веществ, обладающих высокой антиоксидантной активностью, актуально на сегодняшний день, так как БАВ, полученные из натурального сырья, обладают более выраженными свойствами. Одним из перспективных для

получения антиоксидантов семейств считается семейство Астровые, или Сложноцветные [1].

В нашей работе были изучены следующие представители этого семейства: полынь горькая (*Artemisia absinthium*), полынь обыкновенная, или чернوبольник (*Artemisia vulgaris*) и золотарник (*Solidago sp.*). Согласно литературным источникам, эти растения обладают выраженными антиоксидантными свойствами благодаря высокому содержанию полифенолов и флавоноидов [2,3]. Целью работы было подобрать лучший способ получения экстрактов из растений, изучить их химический состав и антиоксидантную активность.

Для подбора параметров экстракции из каждого растения было получено по 3 вида экстрактов: метанольные и этилацетатные (методом Сокслета, 6 часов, 11 циклов) и водно-этанольные (метод мацерации при нагревании на водяной бане в течение 1–2 часов).

Методом ВЭЖХ было установлено, что наиболее богаты фенольными компонентами были метанольные и водно-этанольные экстракты золотарника и полыни обыкновенной, а также этанольный экстракт полыни горькой. Наименее разнообразный состав показали экстракты из растений с применением этилацетата. В метанольном и водно-этанольном экстрактах золотарника преобладала хлорогеновая кислота (6962,2 и 6716,9 мг на 1 кг растительного сырья соответственно). Также было выявлено высокое содержание розмариновой кислоты (930,8 и 990,1 мг/кг) и кверцетин-3D-глюкозида (796,8 и 567,9 мг/кг). Кроме того, в водно-этанольном экстракте золотарника было обнаружено высокое содержание кофейной к-ты (939,2 мг/кг). В этилацетатном экстракте среди фенольных компонентов был обнаружен лишь гиперозид или рутин.

В метанольном и водно-этанольном экстрактах полыни обыкновенной были так же обнаружены значительные количества хлорогеновой (982,1 и 1290 мг/кг соответственно) и розмариновой кислот (929,5 и 1326,0 мг/кг соответственно). Кроме того, в метанольном экстракте было установлено большое количество кверцетин-3D-глюкозида (674,7 мг/кг), в водно-этанольном -- гиперозид или рутин (304,8 или 549,1 мг/кг). В экстракте этилацетата была обнаружена розмариновая к-та.

В метанольном и водно-этанольном экстрактах полыни горькой было обнаружено высокое содержание хлорогеновой (304,9 и 664,7 мг/кг) и розмариновой кислот (363,2 и 692,6 мг/кг). В экстракте этилацетата были обнаружены следы фенольных кислот.

Метанольные и водно-метанольные экстракты показали более сильные антиоксидантные свойства, чем этилацетатные. При этом наибольшие значения антиоксидантной активности по улавливанию радикалов DPPH показали метанольные экстракты золотарника и полыни обыкновенной (56,06±5,86 и 40,54±2,90 мкмоль-экв. тролокса/г соответствен-

но). Экстракты полыни горькой показали невысокую антиоксидантную активность по сравнению с экстрактами золотарника и полыни обыкновенной. Результаты показаны в табл. 1.

Таблица 1. Антиоксидантная активность экстрактов растений

Растение	DPPH, мкмоль-экв. тролокса/г
Золотарник (метанол)	56,06±5,86
Золотарник (40% этанол)	20,07±1,04
Золотарник (этилацетат)	5,40±0,36
Полынь обыкновенная (метанол)	40,54±2,90
Полынь обыкновенная (70% этанол)	24,58±2,82
Полынь обыкновенная (этилацетат)	7,01±0,54
Полынь горькая (метанол)	16,17±1,73
Полынь горькая (70% этанол)	13,44±0,80
Полынь горькая (этилацетат)	2,33±0,23

Результаты исследований показали, что наиболее богаты различными фенольными соединениями были метанольные и водно-этанольные экстракты золотарника и полыни обыкновенной. Они же и обладают наиболее высокой антиоксидантной активностью по улавливанию радикалов DPPH.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение №21-76-10055).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биологическая активность экстрактов растений семейства Астровые / Д.А. Теренжев, С.К. Гумерова, А.П. Любина, К.Н. Бушмелева, Т.Г. Белов // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: Материалы VIII Всерос. конф. с междунар. участием. Барнаул: Алтайский гос. ун-т, 2020. С. 134.
2. *Абдуллаева Б.Т.* Определение антирадикальной активности Полынь горькой и сосновых экстрактов / Б.Т. Абдуллаева, М.И. Солтев // *Universum: химия и биология: электрон. науч. журн.*, 2021. №9. С. 26-29.
3. *Khenouf Seddik.* Antioxidant and antibacterial activities of extracts from *Artemisia herba alba* Asso. leaves and some phenolic compounds / Khenouf Seddik, Iratni Nadjjet, Baghiani Abderrahmane Harzallah Daoud and Arrar Lekhmici // *Journal of Medicinal Plants Research.* 2010. Vol. 4(13). 4 July. P. 1273-280.
4. *Skrypnik, L.* Response Surface Modeling and Optimization of Polyphenols Extraction from Apple Pomace Based on Nonionic Emulsifiers / L. Skrypnik, A Novikova // *Agronomy.* 2020. 10. P. 92. URL: <https://doi.org/10.3390/agronomy10010092>

СТРУКТУРНОЕ ПРОМОТИРОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ФЕРРИТОВ КАЛИЯ ЗА СЧЕТ ДОБАВОК ЦИРКОНИЯ

А.Н. Дворецкая, Т.Н. Судзиловская

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

Ярославский государственный технический университет

Установлен механизм действия легирующей добавки циркония. Показано влияние легирования цирконием на величину поверхности, образованной порами, и величину поверхности, образованной эффективными порами (70-150 нм), для образцов катализатора. Определена динамика изменения пористой структуры в результате термообработки катализатора на воздухе при нескольких температурах, превышающих температуру эксплуатации.

Ключевые слова: керамическая структура, добавки циркония, железооксидный катализатор

STRUCTURAL PROMOTION OF CATALYTICALLY ACTIVE POTASSIUM FERRITES WITH ZIRCONIUM ADDITIONS

A.N. Dvoretzkaya, T.N. Sudzilovskaya

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

Yaroslavl State Technical University

The mechanism of action of the zirconium dopant has been established. The effect of doping with zirconium on the surface area formed by pores and the surface area formed by effective pores (70-150 nm) is shown for catalyst samples. The dynamics of changes in the porous structure as a result of heat treatment of the catalyst in air at several temperatures exceeding the operating temperature is determined.

Keywords: ceramic structure, zirconium additives, iron oxide catalyst

Керамическая структура железооксидного катализатора формируется при термической обработке исходных соединений на воздухе. Влияние пористой структуры катализатора на его активность и избиратель-

ность было исследовано Боресковым [1, 2], который показал, что оптимальная пористая структура катализаторов во многом определяет его активность, селективность действия и связана с кинетическими параметрами катализируемой реакции. Размер эффективных пор находится в пределах 70-150 нм. Пористая структура влияет не только на активность и селективность катализатора, но и на термическую устойчивость, что в значительной мере предопределяет срок эксплуатации катализатора [3].

В состав катализаторов помимо основных компонентов входят разнообразныe добавки, обеспечивающие в свою очередь повышение селективности, термическую стабильность, механическую прочность и износостойкость [4].

Цель работы: Выяснение механизма структурного промотирования каталитически активных ферритных систем за счет добавок циркония.

На активность железооксидного катализатора негативное влияние оказывают поры размером менее 70 нм [5]. Размер эффективных пор находится в пределах 70-150 нм. На рис. 1 и 2 представлена зависимость поверхности образцов катализатора, приготовленных из оксида железа различной химической предыстории, образованной порами эффективного размера, от температуры прокалики на воздухе.

Результаты исследований показали, что катализатор, в состав которого были введены добавки циркония, обладает повышенной термостойкостью. Удельная поверхность такого образца снижается незначительно. Доля эффективных пор 70-150 нм при высоких температурах остаётся постоянной.

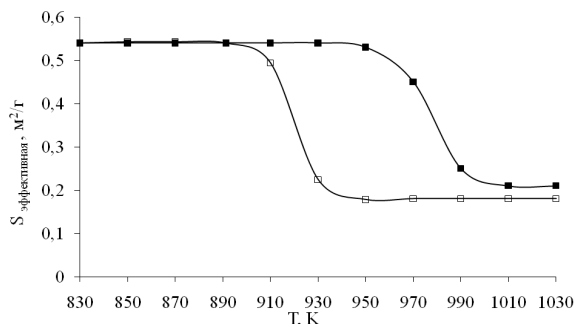


Рис. 1. Зависимость поверхности, образованной порами эффективного размера, от температуры прокалики на воздухе для образцов катализатора, полученных из «карбонатного» оксида железа (температура приготовления образцов катализатора 870-890 К):

□ – исходный образец, ■ – образец, легированный цирконием

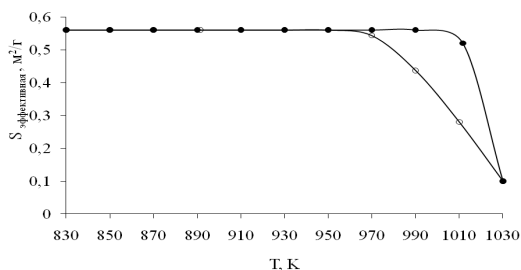


Рис. 2. Зависимость поверхности, образованной порами эффективного размера, от температуры прокаливания на воздухе для образцов катализатора, полученных из сульфатного оксида железа (температура приготовления образцов катализатора 910-920 К):

○ – исходный образец, ● – образец, легированный цирконием

По-видимому, введение добавок циркония приводит к уменьшению температуры вторичной рекристаллизации. Припекание различных по размеру частиц с «поеданием» окружающих более мелких приводит к затеканию пор малого размера и увеличению доли эффективных пор. В результате вторичной рекристаллизации система уменьшает суммарную поверхностную энергию частиц, как следствие, увеличивается механическая прочность гранул катализатора.

Следует отметить, что оптимальная структура с одной стороны должна иметь каркас с пониженной лабильностью, то есть не обладать избыточными внутренними и поверхностными напряжениями, а с другой – каркас должен быть достаточно развитым для того, чтобы обеспечить высокую удельную поверхность эффективных пор. Легированные цирконием катализаторы обладают оптимальной структурой для образцов данных химических предысторий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боресков Г.К. Влияние пористой структуры катализаторов на их активность. I. Гидролиз хлорбензола на силикагелях различной структуры // Журн. физ. химии. 1950. Т. 24, вып. 9. С. 1135-1146.
2. Боресков Г.К. Влияние пористой структуры катализаторов на избирательность их действия / Г.К. Боресков, В.А. Дзисько, М.С. Борисова // Журн. физ. химии. 1954. Т. 28, №6. С. 1055-1066.
3. Дзисько В.А. Физико-химические основы синтеза окисных катализаторов / В.А. Дзисько, А.П. Карнаухов, Д.В. Тарасова. Новосибирск: Наука, 1978. 384 с.
4. Дворецкий Н.В. Генезис промотированных железооксидных катализаторов дегидрирования: Монография / Н.В. Дворецкий, Л.Г. Аниканова. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2007. 112 с.
5. Волков М.И. Влияние механической активации на физико-химические свойства оксидов железа как исходных компонентов для приготовления катализаторов: дис. ... канд. хим. наук. Иваново, 1989. 139 с.

**ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА,
ДОПИРОВАННЫХ МОЛИБДЕНОМ, ТАНТАЛОМ,
ВАНАДИЕМ И НИОБИЕМ, И ИХ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА НА ПРИМЕРЕ РЕАКЦИИ МИХАЭЛЯ**

Е.А. Дерябина, В.В. Ларина, Е.Г. Чупахин

Научный руководитель – **Е.Г. Чупахин**, канд. хим. наук, доцент

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

Получены оболочки на наночастицах магнетита, содержащие переходные металлы молибден, тантал, ванадий и ниобий. Установлена каталитическая активность некоторых полученных образцов в реакции C-S присоединения Михаэля между 1H-бензоимидазол-2-тиолом (меркаптобензоимидазолом) и (E)-1-бензил-3-диазо-4-(пиридин-2-ил-метилена)-пирролидин-2,5-дионом.

Ключевые слова: наночастицы, магнетит, гетерогенный катализ, реакция Михаэля

**PREPARATION OF MAGNETITE NANOPARTICLES
DOPED WITH MOLYBDENUM, TANTALUM, VANADIUM,
AND NIOBIUM AND THEIR CATALYTIC PROPERTIES
USING THE MICHAEL REACTION**

E.A. Deryabina, V.V. Larina, E.G. Chupakhin

Scientific Supervisor - **E.G. Chupakhin**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Immanuel Kant Baltic Federal University

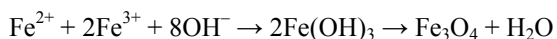
Shells on magnetite nanoparticles containing transition metals molybdenum, tantalum, vanadium, and niobium have been obtained. The catalytic activity of some of the obtained samples in the CS Michael addition reaction between 1H-benzoimidazole-2-thiol (mercaptobenzimidazole) and (E)-1-benzyl-3-diazo-4-(pyridin-2-yl-methylene)-pyrrolidine-2,5-dione.

Keywords: nanoparticles, magnetite, heterogeneous catalysis, Michael reaction

Создание оболочки на магнитных наночастицах магнетита выполняет защитную функцию, а также придает им дополнительные свойства:

она позволяет повысить их устойчивость к окислению и агрегации. Также оболочки, содержащие каталитически активные компоненты, позволяют использовать магнитные наночастицы в качестве гетерогенных катализаторов с возможностью к рециклизации, которые можно эффективно извлекать простыми способами.

Наночастицы магнетита были синтезированы по реакции солей железа Fe^{2+} и Fe^{3+} в щелочной среде [1]:



Оболочки были созданы двумя методами:

1) механотермохимическим (150 °C) с использованием наночастиц янтаря в качестве источника органических лигандов и соединений переходных металлов (оксида молибдена (VI), хлорида тантала (V), хлорида ванадия (III) и хлорида ниобия (V));

2) золь-гель-синтезом с использованием органических кислот в качестве лигандов (яблочной, янтарной и фумаровой) и этоксидов молибдена, тантала, ванадия и ниобия [2].

Методом сканирующей электронной микроскопии было установлено, что после модификации образцы сохранили свою наноразмерность. Мы наблюдаем частицы размером около 20–40 нм, которые образуют агломераты. Методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии было обнаружено присутствие атомов переходных металлов во всех полученных образцах, что подтверждало успешное допирование. Так как в состав янтаря входит сера согласно литературным данным [3], то этот элемент мы использовали как индикатор для обнаружения компонентов янтаря.

Методом магнитометрии было установлено, что полученные частицы сохраняют свои магнитные свойства. Наблюдались узкие петли гистерезиса, характерные для «мягких» магнитов. Величины коэрцитивной силы и остаточной индукции соответствовали размерам наночастиц, определенным методом сканирующей электронной микроскопии [4].

Каталитические свойства полученных частиц исследовали на реакции 1H-бензоимидазол-2-тиола (меркаптобензимидазола) и (E)-1-бензил-3-диазо-4-(пиридин-2-илметил)пирролидин-2,5-диона (рис. 1) методом MALDI-TOF (матрично-активированная лазерная десорбция/ионизация – времяпролетная масс-спектрометрия). Данный метод был выбран в качестве быстрого скрининга для отбора образцов, проявляющих каталитические свойства.

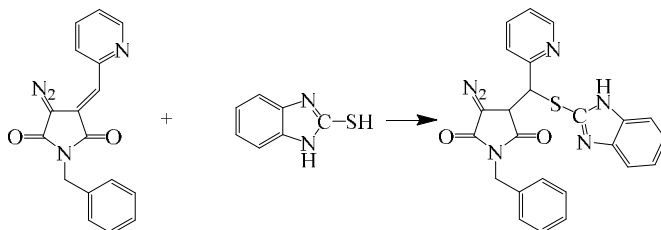


Рис. 1. Реакция C–S присоединения Михаэля

При проведении реакций в присутствии всех полученных образцов наночастиц наблюдалось образование продукта реакции с $m/z = 453,1 \pm 0,5$ Да (соответствует пику продукта $[M-H]^+$), однако в течение 6 часов реакции без катализатора или в присутствии частиц, полученных механотермохимическим методом, наблюдались также пики исходных веществ. При проведении реакции с использованием в качестве катализаторов частиц, полученных методом золь-гель-синтеза, пики меркаптобензимидазола спустя 5,5 часов имели низкую интенсивность или практически не наблюдались, что свидетельствует о более полном протекании реакции. При проведении реакции в присутствии частиц, полученных золь-гель-методом с использованием оксида молибдена (VI), наблюдались пики с другими значениями m/z , что может свидетельствовать об ином механизме протекания реакций и образовании других продуктов. Каталитические свойства частиц, полученных методом золь-гель-синтеза с использованием оксида тантала и янтарной кислоты, были подтверждены методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Таким образом, механотермохимический метод создания оболочек на наночастицах магнетита отличается простотой и воспроизводимостью. Однако большую каталитическую активность в реакции C–S присоединения Михаэля показали частицы, полученные золь-гель-методом с использованием оксидов тантала, ванадия и ниобия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. pH control of magnetic properties in precipitation-hydrothermal-derived $CoFe_2O_4$ / S. Jovanović [et al.] // Journal of alloys and compounds. 2014. Т. 589. Р. 271-277.
2. New materials for DNA isolation / E.A. Bogdanov [et al.] // Материаловедение. Энергетика. 2016. №. 3 (249). С. 97-104.
3. Чернова О.С. Исследование физических свойств образцов янтаря / О.С. Чернова, Л.И. Драпезо, Ю.В. Развин / Новые направления развития приборостроения: материалы 3-й Междунар. студ. науч.-техн. конф., 21-23 апреля 2010 г. Минск: БНТУ, 2010. С. 243.
4. The potentially neglected culprit of DC surface flashover: electron migration under temperature gradients / C. Li [et al.] // Scientific reports. 2017. Т. 7, № 1. С. 1-11.

**РАСЧЁТ РАВНОВЕСНОГО И КВАЗИРАВНОВЕСНОГО
СОСТАВА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ
ВЕЩЕСТВ С РАЗЛИЧНЫМИ СТЕПЕНЯМИ
ЕГО ОКИСЛЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ РЕДОКС-ПОТЕНЦИАЛА И PH РАСТВОРА**

П.А. Задёр¹, Д.В. Конев^{1,2}, М.А. Воротынцев^{1,2,3,4}

Научный руководитель – **М.А. Воротынцев**, д-р физ.-мат. наук,
профессор

¹Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина

²Институт проблем химической физики

³Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

⁴Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

В работе проводился термодинамический расчет равновесного и квазиравновесных составов водных растворов хлорсодержащих веществ с различными степенями окисления атомов хлора в зависимости от редокс-потенциала и pH раствора. Анализ состава раствора выполнен для пяти предельных вариантов редокс-превращений внутри системы.

Ключевые слова: окисление хлорид-аниона, диаграмма Пурбе, химические источники тока

**CALCULATION FOR EQUILIBRIUM OR QUASI-
EQUILIBRIUM COMPOSITION OF AQUEOUS SOLUTION
OF CLORINE-CONTAINING SPECIES WITH DIFFERENT
OXIDATION DEGREE DEPENDING ON ITS REDOX
POTENTIAL AND PH**

P.A. Zader¹, D.V. Konev^{1,2}, M.A. Vorotyntsev^{1,2,3,4}

Scientific Supervisor – **М.А. Vorotyntsev**, Doctor of Physico-
Mathematical Sciences, Professor

¹Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry RAS

²Institute of Problems of Chemical Physics RAS

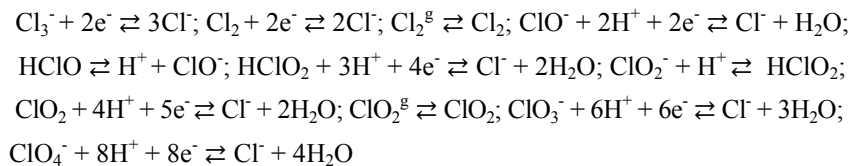
³Lomonosov Moscow State University

⁴Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

Thermodynamic calculation of the equilibrium and quasi-equilibrium compositions of aqueous solutions of Cl-containing compounds of its various oxidation states has been carried out as a function of redox potential and pH of solution. Such analysis has been performed for five limiting variants of redox-transformations inside the system.

Keywords: Chloride oxidation, Pourbaix diagram, chemical power source

В расчётах рассматривались хлорсодержащие соединения со степенями окисления атома хлора от -1 до +7 (Cl^- , Cl_3^- , Cl_2 в растворённой и газовой формах, ClO^- , HClO , ClO_2^- , HClO_2 , ClO_2 в растворённой и газовой формах, ClO_3^- , ClO_4^-), активности/концентрации которых в состоянии полного термодинамического равновесия связаны соответствующими уравнениями Нернста или условиями равновесия:



где индекс "g" – означает, что вещество находится в газовой форме над раствором.

Следует подчеркнуть, что скорости большинства таких электрохимических процессов (особенно это касается процессов, содержащих соединения атомов хлора с положительной степенью окисления, в которых происходит перенос нескольких электронов) очень малы, поэтому равновесие между соответствующими Cl-содержащими соединениями достигается через цепочку химических реакций, включающих соединения промежуточных степеней окисления, что, однако, приводит к тем же равновесным отношениям для концентраций.

Работа посвящена расчётам равновесных и квазиравновесных составов растворов указанных хлорсодержащих веществ в зависимости от редокс-потенциала, E , и pH при суммарной концентрации атомов хлора 0.5M.

Ввиду очень низких значений pK_a сильных кислот: HCl , HClO_3 и HClO_4 , их недиссоциированные формы не учитывались.

Константы равновесий между молекулами Cl_2 и ClO_2 в растворе и в газовой фазе для процессов депротонирования кислот, химических и электрохимических реакций были взяты из литературных источников [1-4].

Пример результатов вычислений представлен на рис. 1 в линейных координатах.

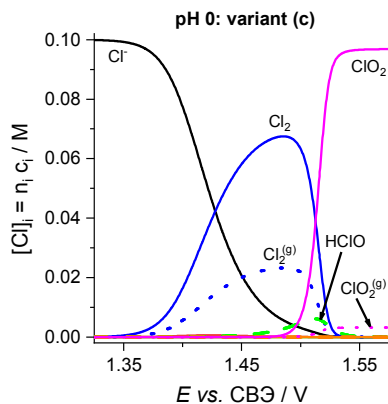


Рис. 1. Зависимость равновесного состава системы от редокс-потенциала E при $\text{pH}=0$. Вариант расчёта (с). Суммарная концентрация Cl -атомов $C_{\text{tot}}=0.1\text{M}$

В своей работе по термодинамике растворов хлорсодержащих соединений Пурбе не рассматривал растворённую форму ClO_2 [5]. Нами впервые построена соответствующая диаграмма для варианта «с»: ClO_4^- и ClO_3^- не участвуют в редокс-реакциях; равновесие между всеми соединениями со степенями окисления от -1 до +4 (ClO_2 в растворе и газе над ним). Результат представлен на рис. 2.

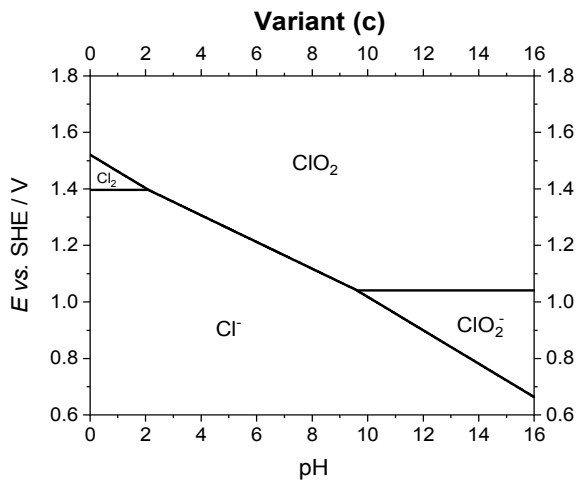


Рис. 2. Диаграмма Пурбе для варианта расчётов «с»

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда РФ, проект № 20-63-46041.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bard A.J.* Standard potentials in aqueous solutions. New York: Marcel Dekker Inc., 1985. 848 p.
2. *Sander R.* Compilation of Henry's Law Constants for Inorganic and Organic Species of Potential Importance in Environmental Chemistry. Mainz: Max-Planck Institute of Chemistry, 1999. 107 p.
3. *Fa'bia'n I.* Complex Formation Reactions of the Chlorite Ion / I. Fa'bia'n, G. Gordon // *Inorg. Chem.* 1991. Vol. 30. P. 3785-3787.
4. *Stanbury D.M.* Vanishingly slow kinetics of the ClO₂/Cl⁻ reaction: its questionable significance in nonlinear chlorite reactions / D.M., Stanbury, J.N., Figlar // *Coordination Chemistry Reviews.* 1991. Vol. 187, № 1. P. 223-232.
5. Chlorine / M. Pourbaix, G. Valensi, E. Deltombe, N. De Zoubov, C. Vanleugenhagne // *Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions* - Houston, 1974. P. 590-603.

УДК 544.6

ИЗУЧЕНИЕ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ КЛЕТОЧНОЙ КОММУНИКАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ ИОННЫХ КАНАЛОВ

П.И. Зырянова, У.В. Носкова, А.О. Пивень, С.А. Уласевич

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

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург

В исследовательской работе описано изучение кальциевых каналов клеточной линии C2C12 с помощью электрохимических методов, ионоселективных электродов. Активация канала осуществлялась с помощью норадреналина и хлорида кальция.

***Ключевые слова:** ионоселективные электроды, кальциевые каналы, ионные каналы*

STUDY AND DETECTION OF CELLULAR COMMUNICATION THROUGH ION CHANNELS

P.I. Zyryanova, U.V. Noskova, A.O. Piven, S.A. Ulasevich

Scientific Supervisor - **S.A. Ulasevich**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

National Research University ITMO, Saint-Petersburg

The research work describes the study of calcium channels of the C2C12 cell line by means of electrochemical methods, ion-selective electrodes. Channel activation is carried out with the help of norepinephrine and calcium chloride.

***Keywords:** ion-selective electrodes, calcium channels, ion channels*

Ионные каналы клетки образованы интегральными мембранными белками, которые контролируют прохождение через липидный слой мембраны нескольких типов ионов. Перенос ионов по открытому ионному каналу определяется электрохимическим градиентом для конкретных ионов через рассматриваемую мембрану [1]. Интерес к изучению межклеточной коммуникации обусловлен возможностью восстанавливать связи при нарушении тканей организма вследствие травм или болезней.

В связи с этим, целью данной работы было изучение клеточной коммуникации на различных паттернах с использованием ион-

селективных микроэлектродов. Измерение ионного тока, генерируемого клетками, проводили с помощью ионоселективных электродов (ИСЭ) на портативном потенциостате Ivium CompactStat. Клетки выращивали на кальцийфосфатных паттернах, выращенных в агаре. Такие паттерны позволяют варьировать клеточную плотность в зависимости от номера кольца и его положения от центра. В качестве контрольной клеточной линии для исследования кальциевых каналов были выбраны C2C12, так как они чувствительны к ионам Ca^{2+} .

Ионоселективные электроды изготавливали на углеродном волокне и модифицировали полиэлектролитами методом послойного осаждения (МПО) на катионообменной мембране, которая включает ионофор, обратимо связывающийся с определенным ионом. Такой подход обеспечивает высокую стабильность при измерении и хранении датчиков. Ионоселективные электроды кондиционировали в растворах соответствующих солей (KCl , NaCl , CaCl_2). Калибровку полученных электродов на стандартных проводили в растворах соответствующих солей. Значения потенциала непрерывно контролировали с помощью потенциостата, где электродвижущая сила измерялась между рабочим ИСЭ и электродом сравнения.

После предварительной калибровки электроды погружали в среду с клетками для обнаружения ионов кальция. Активацию кальциевых каналов проводили добавлением рецептора, связанного с G-белком, норадrenalина в различных концентрациях. В ходе работы фиксировали скачки ионного тока, что может быть связано с клеточной коммуникацией. Таким образом, разработанная система перспективна для мониторинга клеточного взаимодействия. Кроме того, эта система в дальнейшем будет оптимизирована.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Subramanyam P.* Ion channel engineering: perspectives and strategies / Subramanyam P., Colecraft H.M. // *J. Mol. Biol.* 2015. Vol. 427. № 1. P. 190-204.
2. Thin and flexible ion sensors based on polyelectrolyte multilayers assembled onto the carbon adhesive tape / A.A. Stekolshchikova [et al.] // *ACS omega.* 2019. Vol. 4, № 13 P. 15421-15427.

ГИДРОПЕРОКСИДНЫЙ СПОСОБ СОВМЕШНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ФЕНОЛА И МЕТИЛЭТИЛКЕТОНА

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

Разработаны научные и прикладные основы способа совместного получения фенола и метилэтилкетона. Исследованы закономерности основных стадий предлагаемого метода.

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

HYDROPEROXIDE METHOD FOR COMBINED SYNTHESIS OF PHENOL AND METHYLETHYLKETONE

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

Yaroslavl State Technical University

The scientific and applied foundations has been developed of a method for the synthesis of phenol and methylethylketone. The regularities are investigated of the main stages of the proposed method.

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

Фенол и метилэтилкетон (МЭК) являются крупнотоннажными продуктами органического и нефтехимического синтеза и находят широкое применение в различных отраслях науки и техники. Так, фенол используется в производстве пластмасс, пестицидов; применяется в качестве консерванта и антиоксиданта при производстве лекарственных средств [1]. Метилэтилкетон в промышленности хорошо известен как раствори-

тель при производстве клея, лакокрасочных материалов и печатных красок [2].

Современный промышленный способ получения фенола заключается в жидкофазном каталитическом окислении изопропилбензола до его гидропероксида, подвергающегося в дальнейшем кислотному разложению в фенол и ацетон [1]. Несмотря на хорошо отлаженную технологию данный метод имеет существенный недостаток – образование наряду с фенолом побочного продукта – ацетона, который вследствие разработки новых способов синтеза метилметакрилата не находит эквивалентного фенолу рынка сбыта.

Метилэтилкетон получают дегидрированием или каталитическим окислением *втор*-бутилового спирта, полученного гидратацией *n*-бутилена. Получение МЭК такими способами имеет ряд недостатков: проведение процесса в жестких условиях (оптимальная температура 480-550 °С), применение дорогих и низкостабильных катализаторов, многостадийность процесса, сопровождающегося низкой производительностью (выход МЭК составляет не более 80%) и в то же время высокими энергозатратами, образование значительного количества побочных продуктов, а также возникающие трудности в очистке и выделении целевого продукта [2].

В этой связи актуальной задачей становится разработка эффективного способа получения фенола и МЭК, включающего в себя три стадии: алкилирование бензола *n*-бутиловым спиртом с образованием *втор*-бутилбензола (*в*-ББ), его жидкофазное аэробное окисление до гидропероксида (ГП *в*-ББ) и последующее кислотное разложение ГП в целевые продукты. Данный процесс представлен на схеме 1.

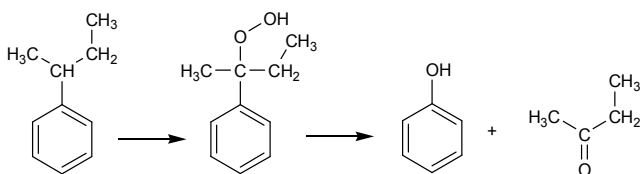


Схема 1

Алкилирование бензола *n*-бутиловым спиртом проводили при непрерывном перемешивании при температуре 70 °С в течение 4 ч в присутствии концентрированной серной кислоты в качестве катализатора. Соотношение реагентов бензол : *n*-бутиловый спирт : серная кислота составило 3:1:3. Исследование влияния температуры и продолжительности реакции на селективность образования *в*-ББ показало, что оптимальными условиями, позволяющими достичь максимального выхода целевого продукта (96,7 % масс.), являются температура 70 °С и продолжитель-

ность реакции 4 ч. Установлено, что более продолжительное проведение реакции (свыше четырех часов) не приводит к значительному повышению выхода продукта, более того, наблюдается увеличение процентного содержания побочных продуктов в реакционной массе.

Ключевой стадией разрабатываемого процесса является жидко-фазное окисление *o*-ББ: от того, насколько эффективно будет протекать данная реакция, зависит экономика всего процесса, поскольку именно на этой стадии образуется основное количество побочных продуктов. Нами были изучены закономерности аэробного окисления *o*-ББ как в отсутствие катализатора, так и в присутствии различных катализаторов. В качестве приоритетного катализатора окисления рекомендуется использовать *N*-ГФИ в силу его высокой эффективности в процессах окисления различных углеводов, доступности исходного сырья и низкой стоимости. На основании экспериментальных данных было установлено, что использование *N*-ГФИ в качестве катализатора окисления значительно повышает концентрацию ГП в оксидате в сравнении с уже имеющимися литературными данными процесса окисления *o*-ББ [3].

Для превращения ГП *o*-ББ в фенол и МЭК 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 *o*-ББ; за ходом реакции следили по расходу ГП *o*-ББ с использованием йодометрического титрования. Установлено, что с повышением температуры наблюдается повышение начальной скорости процесса разложения ГП, а также увеличение содержания побочных продуктов реакции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Харлампович Г.Д.* Фенолы / Г.Д. Харлампович, Ю.В. Чуркин. М.: Химия, 1974. 376 с.
2. *Жижина Е.Г.* Разработка новой технологии каталитического синтеза метилэтилкетона окислением *n*-бутиленов / Е.Г. Жижина, В.Ф. Одяков, А.Л. Балашов, К.И. Матвеев // Катализ в промышленности. 2005. № 5. С. 28-35.
3. *Закошанский В.М.* Фенол и ацетон. Анализ технологий, кинетики и механизма основных реакций. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2009. С. 587-590.

**RuO₂/TiO₂/Ti ЭЛЕКТРОД ДЛЯ ПЕРЕЗАРЯЖАЕМОЙ
ВОДОРОДНО-БРОМАТНОЙ БАТАРЕИ.
ПОЛУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА РЕСУРСА**

**Н.В. Карташова^{1,2}, А.А. Пустовалова¹, Д.В. Конев^{2,3,4},
А.Е. Антипов^{1,2}, М.А. Воротынцев^{1,2,3,4}**

Научный руководитель – **М.А. Воротынцев**, д-р физ.-мат. наук,
профессор

¹Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

³Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина

⁴Институт проблем химической физики

Для повышения ресурса водородно-броматной проточной батареи изготовлен RuO₂/TiO₂/Ti – электрод на пористой титановой подложке, предназначенный для замены углеродного материала в составе мембранно-электродного блока, реализующего прямой (восстановление бромата до бромида) и обратный (окисление бромида до бромата) процессы в ходе выработки электроэнергии и ее запасания в паре с водородным газодиффузионным электродом. Исследованы: морфология, фазовый и элементный состав, а также прослежено изменение двойного электрического слоя поверхности RuO₂/TiO₂/Ti – электрода по сравнению с образцом углеродной бумаги Sigraset 39AA.

Ключевые слова: восстановление бромат-анионов, окисление бромид-анионов, химические источники тока

**RuO₂/TiO₂/Ti ELECTRODE FOR RECHARGEABLE
HYDROGEN-BROMATE BATTERY.
MANUFACTURING AND ASSESSING THE LIFETIME**

**N.V. Kartashova^{1,2}, A.A. Pustovalova¹, D.V. Konev^{3,4},
A.E. Antipov^{1,2}, M.A. Vorotyntsev^{1,2,3,4}**

Scientific Supervisor – **M.A. Vorotyntsev**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

¹Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia

²Lomonosov Moscow State University

³Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry RAS

⁴Institute of Problems of Chemical Physics RAS

To increase the lifetime of a hydrogen-bromate flow battery, RuO₂/TiO₂/Ti - electrode was made on a porous titanium substrate, designed to replace the carbon material in the membrane-electrode assembly, which implements direct (reduction of

bromate to bromide) and reverse (oxidation of bromide to bromate) processes during the generation/accumulation of electricity in tandem with a hydrogen gas diffusion electrode. Researched: morphology, phase and elemental compositions, and also traced the change in the electric double layer of the RuO₂/TiO₂/Ti electrode surface compared to the Sigraset 39AA carbon paper sample.

Keywords: Bromate reduction, bromide oxidation, chemical power source

На сегодняшний день актуальной задачей для современной энергетики является поиск и исследование новых материалов и процессов, лежащих в основе химических источников тока (ХИТ) нового поколения. Одним из таких является водородно-броматная батарея, на мембранно-электродном блоке которой протекают полуреакции окисления/выделения водорода (отрицательный электрод) в сочетании с восстановлением/электрогенерацией бромата в кислом растворе (положительный электрод). В работе [1] показано, что преобразование бромата в бромид в кислой среде может быть проведено с высокой скоростью при невысоком перенапряжении за счет ЕС'' механизма, где редокс-пара бром/бромид выполняет медиаторную функцию. Однако обратный процесс – электроокисление бромида до бромата – с заметной (полезной для практики) скоростью протекает лишь при достаточно высоких напряжениях, оказывающих разрушающее воздействие на углеродные материалы. Задача электролиза бромидов решалась в ряде работ, но только для щелочных или слабощелочных сред [2-3], тогда как для реализации механизма ЕС'' при разряде необходима кислая среда. Имеется ряд работ, посвященных разработке материалов электродов для электролиза бромидов до броматов, в работе [2] при pH > 8.5 на RuO₂/TiO₂/Ti удалось получить 67% выход по току, а в [3] при электролизе бромидов, содержащихся в дезинфицирующей жидкости (pH = 6–9), пытались оптимизировать выход по току. Но во всех случаях целью этих работ являлась оптимизация выхода по току [2-3], тогда как величине задаваемого напряжения не уделялось достаточного внимания ввиду того, что бромид-броматная полуреакция не рассматривалась как часть энергозапасяющего цикла.

До сих пор в H₂-BrO₃⁻ ХИТ применялись пористые катоды из углеродных материалов, которые быстро деградировали во время их функционирования. В данной работе для повышения ресурса броматного катода вместо них использованы DSA (Dimensionally Stable Anodes), т.е. материалы на основе смешанных оксидов металлов, обладающие высокой проводимостью и коррозионной устойчивостью. Электроды изготовлены на подложке из пористого титанового войлока (пористость 80%, Anping County Bolin Metal Wire Mesh Co. Ltd, КНР) с нанесенным на него смешанным металлооксидным покрытием из оксидов рутения и титана. Для приготовления раствора 0.012 моль лимонной кислоты (C₆H₈O₇) растворяли в 0.05 молях этиленгликоля (C₂H₄(OH)₂) при 70 °C и постоянном перемешивании. Далее раствор хлорида рутения (RuCl₃) с массовой долей рутения 47,25% добавляли к исходному раствору в количестве 0,001 моль, перемешивая до образования

гомогенного раствора. Перед нанесением раствора поверхность титанового войлока (Ti) очищали в концентрированной соляной кислоте - 1 ч при комнатной температуре и 15 минут в концентрированной азотной кислоте (HNO₃), затем промывали в дистиллированной воде и сушили при 55–60 °С. Предподготовленный войлок погружали в раствор прекурсора для его равномерного распределения в объёме, излишки раствора удаляли. Отжиг проводили в муфельной печи со скоростью нагрева 5 °С мин⁻¹ до 500 °С, время выдержки при 500 °С – 1 ч.

Исследованы: морфология, фазовый и элементный состав RuO₂/TiO₂/Ti- электрода с помощью методов сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рамановской спектроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии соответственно. RuO₂/TiO₂/Ti- электрод был протестирован в трёхэлектродной ячейке в качестве рабочего электрода для сравнения изменения величин емкости двойного электрического слоя на его поверхности (C) в ходе гальваностатического состаривания по сравнению с образцом из использовавшейся ранее углеродной бумаги Sigraset 39AA. В качестве электрода сравнения использовали хлоридсеребряный электрод, а вспомогательного электрода – платиновый.

Из рис. 1 следует, что в процессе гальваностатического ускоренного состаривания поверхность углеродной бумаги Sigracet 39 AA деградирует, при этом ее емкость двойного электрического слоя поверхности электрода (C) по отношению к ее начальной емкости (C₀) увеличивается в 17 раз, в то время как для образца RuO₂/TiO₂/Ti емкость двойного электрического слоя практически не изменяется. Это говорит о потенциальной возможности повышения ресурса положительного электрода.

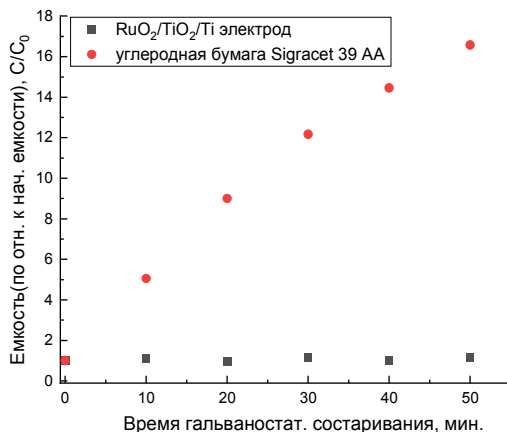


Рис. 1. Зависимость емкости двойного электрического слоя поверхности (по отношению к начальной емкости) образцов в процессе гальваностатического ускоренного состаривания током плотности 0,75 mA/cm² в растворе состава 1M H₂SO₄

Результаты по изучению ускоренного старения поверхности DSA свидетельствуют о потенциальной возможности повышения ресурса положительного электрода в составе МЭБ водородно-броматной ПРБ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №21-73-30029).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A Hydrogen-Bromate Flow Battery for Air-Deficient Environments / A.D. Modestov, D.V. Konev, O.V. Tripachev, A.E. Antipov, Yu.V. Tolmachev, M.A. Vorotyntsev // *Energy Technol.* 2018. Vol. 6. P. 242.
2. *Cettou P.* On the electrolysis of aqueous bromide solutions to bromate / P. Cettou, P. Robertson, N. Ibl // *Electrochim. Acta.* 1984. Vol. 29. P. 875.
3. *Grgur B.N.* Electrochemical Oxidation of Bromides on DSA/RuO₂ Anode in the Semi-Industrial Batch Reactor for On-Site Water Disinfection // *J. Electrochem. Soc.* 2019. Vol. 166 P. E50.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА СИНТЕЗА 4,5-ДИХЛОРФТАЛОНИТРИЛА

Д.Э. Клейкова, В.Л. Баклагин, К.В. Молчанова, И.Г. Абрамов

Научный руководитель – **И.Г. Абрамов**, д-р хим. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается методика двухстадийного синтеза 4,5-дихлорфталонитрила из 4,5-дихлорфталимида, а также его применение в качестве мономера для создания фталоцианинов и полиэфиримидов с заданными свойствами.

***Ключевые слова:** 4,5-дихлорфталонитрил, связующие и полимерные композитные материалы, 4,5-дихлорфталимид, оксихлорид фосфора*

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR THE SYNTHESIS OF 4,5-DICHLOROPHTHALONITRILE

**D.E Kleikova, V.L. Baklagin, K.V. Molchanova,
I.G. Abramov**

Scientific Supervisor – **I.G. Abramov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

A technique for the two-stage synthesis of 4,5-dichlorophthalonitrile from 4,5-dichlorophthalimide is considered, as well as its use as a monomer for the creation of phthalocyanines and polyetherimides with desired properties.

***Keywords:** 4,5-dichlorophthalonitrile, binders and polymer composites, 4,5-dichlorophthalimide, phosphorus oxychloride.*

4,5-Дихлорфталонитрил является перспективным соединением для производства связующих и полимерных композиционных материалов, обладающих высокой термической стойкостью. Он представляет интерес для получения новых конструкционных материалов применяемых в авиационной, электротехнической и космической промышленности [1]. Помимо применения в технической сфере соединения на его основе используют для производства пигментов и красителей, а также в медицине.

Получению 4,5-дихлорфталонитрилов уделяется особое внимание, поскольку фталонитрилы являются перспективными соединениями для

дальнейших синтезов мономеров, необходимых для получения фталоцианинов и полиэфиримидов с заданными свойствами [2].

Целью данной работы является разработка метода синтеза 4,5-дихлорфталодинитрила.

Нами был разработан двухстадийный способ получения 4,5-дихлорфталодинитрила **3** (схема 1). В его основу положен метод синтеза 4-бром-5-нитрофталодинитрила, описанный в работе [3].

На первой стадии 4,5-дихлорфталаимид **1** обрабатывали избытком водного аммиака при температуре 30 °С в течение 1,5 ч. Образовавшийся 4,5-дихлорфталамид **2** отфильтровывали и сушили при комнатной температуре. Выход продукта составил 96%.

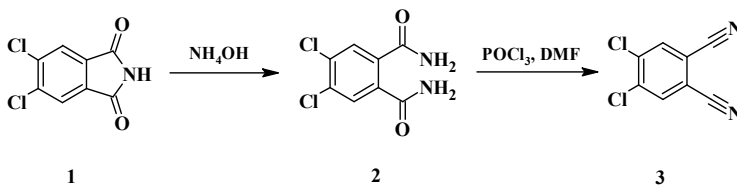


Схема 1

На второй стадии 4,5-дихлорфталамид **2** обрабатывали оксихлоридом фосфора в среде ДМФА при температуре 35 °С в течение 1,5 ч. Полученную реакционную массу выливали в воду со льдом, отфильтровывали и сушили при комнатной температуре. Выход целевого продукта реакции составил 76%.

Строение всех синтезированных соединений было подтверждено совокупностью данных ИК- и ЯМР- спектроскопии.

Полученный 4,5-дихлорфталодинитрил, являясь реакционноспособным субстратом в $\text{S}_{\text{N}}\text{Ar}$ -реакциях с моно- и бифункциональными *O*-нуклеофилами, был использован нами для синтеза широкой гаммы 4-арилокси-5-хлорфталодинитрилов – полупродуктов в синтезе фталоцианинов и полиэфиримидов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sustainable, Fire-Resistant Phthalonitrile-Based Glass Fiber Composites / M. Laskoski, A. R. Shepherd, W. Mahzabeen, J. S. Clarke, T. M. Keller, U. Sorathia // Polymer Chemistry. 2018. Vol. 56, No 11. P. 1128-1132.
2. *Kandaz M.* Synthesis and characterization of novel symmetrical phthalocyanines substituted with mono- or bi-macrocycles / M. Kandaz, I. Yılmaz, O. Bekaroglu // Polyhedron. 2000. №19. P. 115-121A.
3. The differing reactivity of the bromo and nitro groups in 4-bromo-5-nitrophthalonitrile towards nucleophilic attack / I.G. Abramov, M.V. Dorogov, A.V. Smirnov, S.A. Ivanovskii, M.B. Abramova, V.V. Plachtinsky // Mendeleev Commun. 2000. Vol. 2. P. 78.

**НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ
АКТИВАЦИИ ПЕРЕХОДА ОСАЖДЕННОГО БАЙЕРИТА
Al(OH)₃ В БЁМИТ AlOOH**

М.С. Малоиван, 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

Осаждением аммиаком из раствора нитрата алюминия получен байерит Al(OH)₃. Неизотермическим методом (по уравнению Аврамы) оценена эффективная энергия активации перехода байерита в бёмит AlOOH: (136±5) кДж/моль.

***Ключевые слова:** байерит, бёмит, термоллиз, энергия активации, уравнение Аврамы, термический анализ*

**NON-ISOTHERMAL DETERMINATION
OF THE ACTIVATION ENERGY OF THE PRECIPITATED
BAYERITE Al(OH)₃ INTO BOEHMITE AlOOH TRANSITION**

M.S. Maloivan, N.V. Filatova, N.F. Kosenko

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

Ivanovo State University of Chemistry and Technology

Aluminum hydroxide in the form of bayerite was obtained by precipitation with ammonia. The value of effective activation energy for bayerite → boehmite AlOOH transition ((136±5) kJ/mol) by means of non-isothermal method (by Avramy equation).

***Keywords:** bayerite, boehmite, thermolysis, activation energy, Avramy equation, thermal analysis*

Оксиды алюминия широко используются в керамике, составах катализаторов и фотокатализаторов, а также их носителей, в качестве материала для электроники и огнеупоров, биосовместимого компонента и т.д. Материалы на основе оксидов и гидроксидов алюминия находятся в чис-

ле наиболее интенсивно изучаемых. Активные гидроксиды в виде гиббсита и байерита обычно получают осаждением [1, 2]. Термолиз полных $\text{Al}(\text{OH})_3$ и неполных гидроксидов AlOOH позволяет получить высоко востребованные нанопорошки бёмита $\gamma\text{-AlOOH}$ и оксида алюминия [1, 3, 4]. Большое внимание исследователей уделяется изучению кинетики и механизма термолиза, в том числе с помощью неизотермического метода [5-7].

В данной работе была поставлена задача оценить энергию активации перехода байерит \rightarrow бёмит в неизотермических условиях и сопоставить ее значение с аналогичным процессом для гиббсита.

Байерит получали осаждением аммиаком. Фазовый состав продукта подтвердили рентгенофазовым анализом (рис. 1).

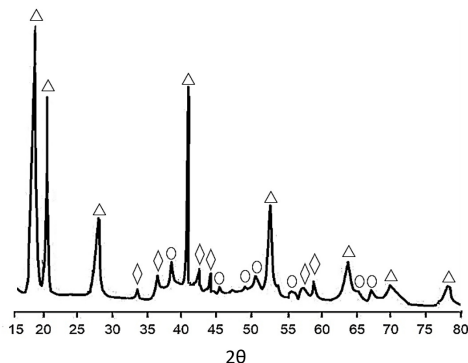


Рис. 1. Дифрактограмма осажденного продукта

Δ – байерит, ○ – бёмит, ◇ – гиббсит

Для оценки энергии активации использовали термический анализ. Термолиз гидроксида сопровождается поглощением тепла, т.е. появлением эндозффекта на ДТА/ДСК кривых. Фрагменты кривых ДСК для перехода байерит \rightarrow бёмит иллюстрирует рис. 2. Эти фрагменты отличаются скоростью подъема температуры при записи кривых. Отчетливо видно, что с повышением скорости нагрева экстремумы смещаются в сторону больших температур. Полученные данные использовали для кинетического анализа дегидратации байерита с помощью уравнения Аврами:

$$\ln \left(\frac{T_{\max}^2}{h} \right) = \frac{E_a}{RT_{\max}} + \ln \frac{E_a}{RA'} \quad (1)$$

где T_{\max} – экстремальная температура пика; h – скорость нагревания, К/с; E_a – эффективная энергия активации, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/моль·К); A' – предэкспоненциальный фактор в уравнении Аррениуса:

$$k = A \exp(-E_a/RT). \quad (2)$$

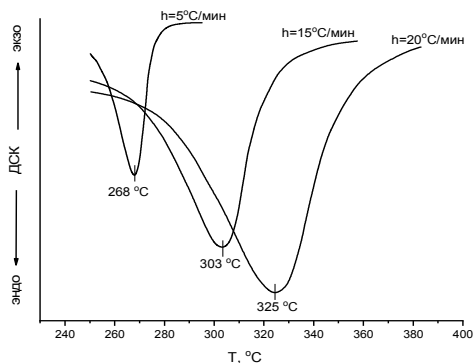


Рис. 2. Фрагменты кривых ДСК для перехода байерит → бёмит при различной скорости нагревания образцов

Зависимость в координатах $\ln\left(\frac{T_{max}^2}{h}\right) - \frac{1}{T_{max}}$ линейна с наклоном, характеризуемым величиной $\text{tg}\alpha$. Поэтому $E_a = R \text{tg}\alpha$. Значение $\text{tg}\alpha$ ($16,3 \pm 0,6$) и коэффициент линейной аппроксимации R^2 ($0,975$) определены по зависимости, приведенной на рис. 3.

Эффективная энергия активации для частичной дегидратации байерита и образования бёмита рассчитана равной 136 ± 5 кДж/моль. Эта величина близко совпадает со значениями энергии активации для перехода гиббсит → бёмит, полученными различными авторами в диапазоне 155–159 кДж/моль [5], 108,5 кДж/моль [6], 133–142 кДж/моль [7].

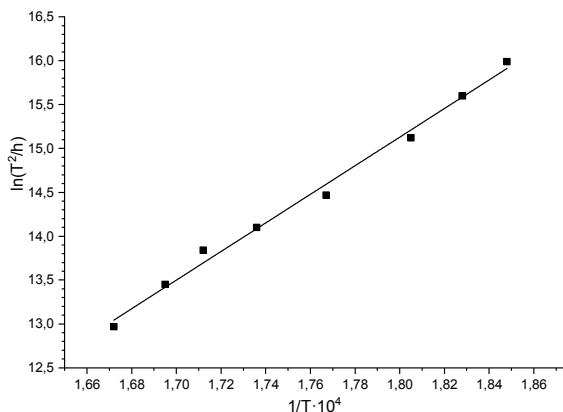


Рис. 3. Зависимость в координатах уравнения Аврами для перехода байерит → бёмит

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тагандурдыева Н.* Получение гидроксида алюминия – байерита методом осаждения / Н. Тагандурдыева, В.Н. Нараев, А.Ю. Постнов, Н.В. Мальцева // Известия СПбГТИ(ТУ), 2020. № 53(79). С. 17 – 22.
2. *Ramili Z.* Preparation of ordered mesoporous alumina particles via simple precipitation method / Z. Ramili, R. Saleh // Journal of Fundamental. Sciences, 2008. Vol. 4. P. 435–443.
3. *Du X.* Thermal decomposition of grinding activated bayerite / X. Du, X. Su, Y. Wang, J. Li // Materials Research Bulletin, 2009. Vol.44(3). P. 660–665.
4. *Carstens S.* Towards Macroporous α -Al₂O₃—Routes, Possibilities and Limitations / S. Carstens, R. Meyer, D. Enke // Materials, 2020. Vol. 13(7). 1778.
5. *Redaoui D.* Mechanism and kinetic parameters of the thermal decomposition of gibbsite Al(OH)₃ by thermogravimetric analysis / D. Redaoui, F. Sahnoune, M. Herraiz, A. Raghdi // Acta Physica Polonica A, 2017. Vol. 131(3). P. 562 – 565.
6. *Zhu B.* Dehydration reactions and kinetic parameters of gibbsite / B. Zhu, B. Fang, X. Li // Ceramics International, 2010. Vol. 36(8). P. 2493–2498.
7. *Perić J.* Investigation of dehydroxylation of gibbsite into boehmite by DSC analysis / J. Perić, R. Krstulović, M. Vućak // Journal of Thermal Analysis, 1996. Vol. 46. P. 1339–1347.

УДК 547.859:547.814.1

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

**А.М. Урядова, А.С. Карандеева, Е.С. Макарова,
С.И. Филимонов**

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

Ярославский государственный технический университет

Разработан метод синтеза 4-замещенных 8-гидрокси-10b-метил-1,2,3,4,4a,10b-гексагидро-2H-хромено[4,3-d]пиримидин-2,5(1H)-дионов путем кислотно-катализируемой конденсации 1,3-бензолдиона с пиримидинонами.

Ключевые слова: диастереомеры замещенных 8-гидрокси-гексагидро-2H-хромено[4,3-d]пиримидин-2,5-дионов, 1,3-бенздиол

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

**A.M. Uryadova, A.S. Karandeeva, E.S. Makarova,
S.I. Filimonov**

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

Yaroslavl State Technical University

A method for the synthesis of 4-substituted 8-hydroxy-10b-methyl-1,2,3,4,4a,10b-hexahydro-2H-chromeno[4,3-d]pyrimidine-2,5(1H)-diones by acidic catalyzed condensation of 1,3-benzenedione with pyrimidinones was developed.

Keywords: diastereomers of substituted 8-hydroxy-hexahydro-2H-chromeno[4,3-d]pyrimidine-2,5-diones, 1,3-benzodiol

Дигидропиримидины и их конденсированные аналоги представляют собой важный класс органических соединений, обладающий широким спектром биологических свойств, в том числе противомикробных, противовирусных, противоопухолевых, противодиабетических, противовоспалительных, противосудорожных и антигистаминных. Хроман-2-оны и их производные являются

перспективными биологически активными структурами, находящими применение как в народной медицине, так и в фармацевтической области. Также синтез производных, содержащих тетрагидропиримидиновый цикл, привлекает особое внимание химиков [1,2]. Поэтому объединение в одной молекуле тетрагидропиримидинового и хроманового фрагментов может привести к более выраженному проявлению биологической активности данных структур.

Ранее сообщалось о синтезе тиопроизводных гексагидро-5*H*-хромено[4,3-*d*]пиримидин-5-онов [3], однако получить кислородсодержащие аналоги по общей методике, приводимой в данной работе, не удалось. Оказалось, что дигидропиримидин-2-оны менее активно реагируют с резорцинами и более склонны к осмолению в одних и тех же условиях по сравнению с тио-аналогами.

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

Смесь пиримидинов **1a-d** с резорцином **2** в уксусной кислоте при добавлении каталитических количеств метансульфо кислоты нагревали при разной температуре и времени реакции. В результате было установлено, что наибольшее количество целевых гексагидро-2*H*-хромено[4,3-*d*]пиримидин-2,5-дионов **3,4a-d** образуется при 80–100 °С и концентрации метансульфоновой кислоты $1.23 \cdot 10^{-3}$ М, при этом время реакции составило 8–10 часов. В этих условиях с приемлемым общим выходом (до 86%) были получены хроманы **3,4a-d**.

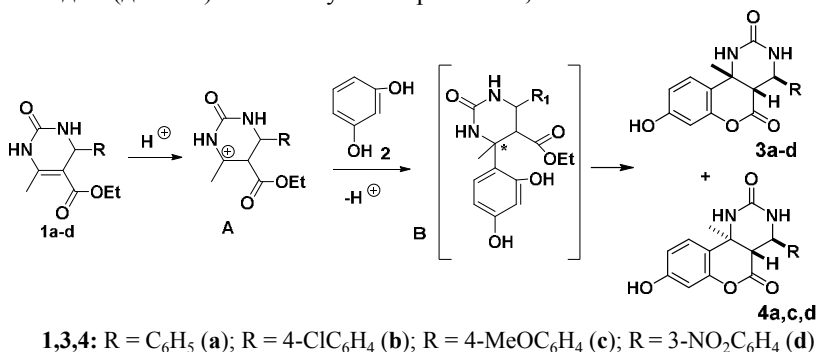


Схема 1

Синтез гексагидро-2*H*-хромено[4,3-*d*]пиримидин-2,5-дионов имеет много общего с получением 2-тиогексагидро-5*H*-хромено[4,3-*d*]пиримидин-5-онов, однако в отличие от тио-аналогов, данные

соединения образуются в виде двух диастереомеров в соотношении 1:1, что было установлено на основании данных ЯМР-спектроскопии. Помимо этого, из-за высокой растворимости образующихся диастереомеров, возникла задача отделить их от непрореагировавших и побочных продуктов в реакционной смеси, а также друг от друга. В качестве оптимального растворителя для очистки соединений **3,4a-d** был выбран хлороформ. Для получения чистого (*4R**,*4aS**,*10bR**)-диастереомера **3a-d** использовалась перекристаллизация из смеси хлороформа и изопропилового спирта.

Строение гексагидро-2*H*-хромено[4,3-*d*]пиримидин-2,5-дионов **3,4a-d** установлено на основании совокупности данных ИК-, ЯМР-спектроскопий и масс-спектрометрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Taily I.M.* [3+3] Annulation via Ring Opening/Cyclization of Donor-Acceptor Cyclopropanes with (un)symmetrical ureas: A Quick Access to Highly Functionalized Tetrahydropyrimidinones / I.M. Taily, D. Saha, P. Banerjee // *Eur. J. Org. Chem.* 2019. Vol. 48. P. 7804-7815.
2. *Feng G.* Facile Synthesis of Chiral Cyclic Ureas through Hydrogenation of 2-Hydroхуrimidine/Pyrimidin-2(1H)-one Tautomers / G. Feng, M. Chen, L. Shi, Y. Zhou // *Angew. Chem., Int. Ed.* 2018. Vol. 57. 5853-5857.
3. A Condensation of Biginelli Products with 1,3-Benzenediols: a Facile Access to Diastereomerically Pure Hexahydro-5*H*-хромено[4,3-*d*]pyrimidin-5-ones / S.I. Filimonov, Zh.V. Chirkova, M.V. Kabanova [et al.] // *ChemistrySelect.* 2019. Vol. 4. P. 9550–9555.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ГИДРОГЕЛЕВЫМ ХИТОЗАНОВЫМ АДСОРБЕНТОМ

В.А. Фуфаева, Т.Е. Никифорова

Научный руководитель – **Т.Е. Никифорова**, д-р хим. наук,
профессор

Ивановский государственный химико-технологический университет

Показана эффективность использования гидрогелевого композиционного адсорбента на основе хитозана и пирогенного диоксида кремния в извлечении ионов меди и кадмия из водных растворов, рассчитаны адсорбционные характеристики полученного композита.

Ключевые слова: хитозан, композитный адсорбент, сорбция тяжелых металлов, сорбционная емкость

REMOVAL OF HEAVY METALS FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY CHITOSAN HYDROGEL ADSORBENT

V.A. Fufaeva, T.E. Nikiforova

Scientific Supervisor – **T.E. Nikiforova**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

Ivanovo State University of Chemistry and Technology

The efficiency of using the hydrogel composite adsorbent based on chitosan and pyrogenic silicon dioxide for removing copper and cadmium ions from aqueous solutions is exhibited. The adsorption characteristics of the obtained chitosan-silica composite were calculated.

Keywords: chitosan, composite adsorbent, sorption of heavy metals, sorption capacity

Антропогенная активность, урбанизация и индустриализация представляют собой ключевые факторы увеличения концентрации тяжелых металлов, в частности в водной среде, особенно в последние десятилетия. Значительный вклад в распространение тяжелых металлов с водными потоками вносят нефтеперерабатывающая промышленность, галь-

ваника, добыча железорудных пород и т.п. [1]. Тяжелые металлы токсичны, не поддаются биологическому разложению и способны накапливаться в живых организмах [2]. Таким образом, существует потребность в создании высокоэффективных адсорбционных материалов для элиминации тяжелых металлов в водной среде. Такими материалами являются композиционные сорбенты на основе хитозана, который обладает такими свойствами как биоразлагаемость, возобновляемость и нетоксичность. Главным достоинством данного биополимера является его способность к разноплановой модификации, в результате которой кратно возрастают сорбционные свойства материала при сохранении постоянства структурных характеристик [3]. Цель работы – изучение сорбционных характеристик по отношению к ионам тяжелых металлов композиционного гидрогелевого сорбента на основе сшитого хитозана и пирогенного диоксида кремния, обработанного в условиях низких температур.

Объектом исследования, в данной работе, являлся гидрогелевый композиционный сорбент на основе хитозана и пирогенного диоксида кремния (CS/SiO₂). Композит получали в три этапа: приготовление гидрогеля сшитого хитозана [4], введение в гидрогель несuspendированного диоксида кремния при соблюдении массового соотношения хитозан : SiO₂ = 1:2.5, формирование гидрогелевых гранул в 1M NaOH [4]. Адсорбцию тяжелых металлов (ионов меди (II) и кадмия (II)) проводили из водных растворов CuSO₄ и CdSO₄ различной концентрации в статических условиях [5], модуль раствор/сорбент равен 100. Расчет адсорбционных характеристик проводили на основании данных изменения концентрации ионов меди (II) в растворе до и после сорбции, которую фиксировали с помощью атомно-абсорбционного спектрометра 210 VGP.

Микрофотографии гидрогелевого композита CS/SiO₂ получены методом сканирующей электронной микроскопии с помощью VEGA Tescan 3 SBH и представлены на рис. 1.

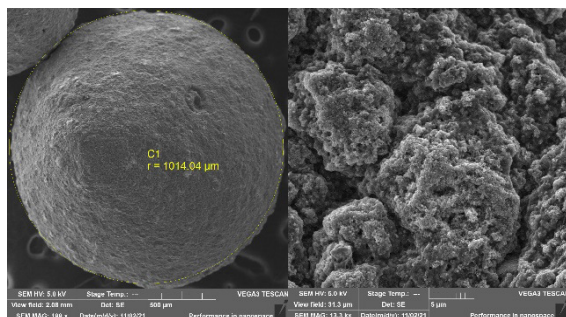


Рис. 1. Микрофотографии композита CS/SiO₂

Обработка композита в условиях низких температур ($T < 0 \text{ }^\circ\text{C}$) приводит к образованию «каналов» в твердой фазе. В свою очередь, это облегчает доступ сорбата к адсорбционным центрам, распределенным в объеме гранул. Использование в качестве наполнителя пирогенного диоксида кремния, видимо, увеличивает удельную поверхность и снижает расход хитозана, используемого в целевом процессе адсорбции.

Расчет сорбционных констант проводили на основании экспериментально полученных изотерм адсорбции ионов меди и кадмия (рис. 2) при их обработке в линейных координатах модели Лэнгмюра, Фрейндлиха и теории объемного заполнения микропор (ТОЗМ) [2, 5]. Также были получены значения энергии Гиббса и максимальной степени заполнения поверхности адсорбента [5]. Полученные данные представлены в табл. 1.

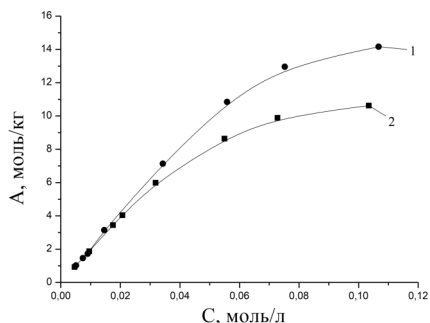


Рис. 2. Изотермы адсорбции ионов:
1 – меди(II) и 2 – кадмия (II) на гидрогелевом композите CS/SiO₂.
pH = 5.3, T = 298 К, модуль раствор/сорбент = 100

Таблица 1. Значения адсорбционных констант для композита CS/SiO₂

Металл	ΔG_a° , кДж/моль	θ	A , моль/кг	A_m , моль/кг	K_L , л/моль	K_F , (мг/г)/(л/мг) ^{1/n}	E , кДж/моль
Cu(II)	-16.48	0.95	14.1	14.8	795.2	1.48	6.37
Cd(II)	-15.69	0.87	10.6	12.2	561.79	1.27	5.75

Величина предельной сорбционной емкости (A_m) по ионам меди и кадмия в статических условиях для композита CS/SiO₂ и значительно превышает такую для некоммерческих аналогов, приведенных в литературе [3]. Значения характеристической энергии адсорбции, полученные в линейных координатах ТОЗМ, указывают на физическую природу адсорбционных сил, то есть имеют место дисперсионные взаимодействия, хорошо описываемые константой Фрейндлиха (K_F), по физическому смыслу являющейся константой неоднородности системы. Процесс из-

влечения тяжелых металлов является термодинамически самопроизвольным, а максимальная степень заполнения (по Cu(II)) в статических условиях достигает 0.95. Главным результатом сочетания обработки композита при низких температурах и жидкофазной сшивки при получении композита CS/SiO₂ является увеличение его сорбционной емкости по ионам меди и кадмия в 2.98 раза, по сравнению с гидрогелевыми гранулами хитозана, и в 10 раз, по сравнению с необработанным порошком хитозана [3]. Таким образом, полученный композиционный сорбент на основе хитозана и пирогенного диоксида кремния является перспективным сорбционным материалом для извлечения d-металлов из сточных вод различной природы, например, переработки углеводородов и гальваники, и может быть использован для глубокой доочистки указанных отходов.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение НИР (Тема № FZZW-2020-0010).

Исследование проведено с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Zamora-Ledezma C.* Heavy metal water pollution: A fresh look about hazards, novel and conventional remediation methods / C. Zamora-Ledezma, D. Negrete-Bolagay // Environmental Technology & Innovation. 2021. Т. 22. С. 101504.
2. *Филиппов Д.В.* Сорбция ионов тяжелых металлов из водных растворов мезопористым 2-этилимидазолатом никеля / Д.В. Филиппов, В.А. Фуфаева, М.В. Шепелев // Журн. неорганической химии. 2022. Т. 67. С. 397-402.
3. *Chakraborty R.* Adsorption of heavy metal ions by various low-cost adsorbents: a review / R. Chakraborty, A. Asthana, A.K. Singh // International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2022. Т. 102, №. 2. С. 342-379.
4. *Fufaeva V. A.* Preparation of Zif/Chitosan Composite beads for highly efficient removal of Copper(II) / V.A. Fufaeva, T.E. Nikiforova // International Journal of Advanced Studies in Medicine and Biomedical Sciences. 2020. № 2. С. 3-6.
5. *Фуфаева В.А.* Высокоэффективное извлечение ионов меди (ii) из водных растворов с использованием 2-этилимидазолат никеля / В.А. Фуфаева, Д.В. Филиппов // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2021. Т. 64, №. 5. С. 24-29.

ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОЙ АКТИВАЦИИ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД НА ВНЕШНЮЮ ДИФФУЗИЮ В ПРОЦЕССЕ СОРБЦИИ ИОНОВ Zn (II) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

В.О. Яхнева, А.В. Лысенко

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

Юго-Западный государственный университет

Изучена сорбция ионов Zn (II) карбонатными породами и модифицированными аналогами. Исследованы оптимальные условия сорбции. Рассчитаны параметры внешней диффузии, построены зависимости $-\ln(1-F)$ от времени.

***Ключевые слова:** внешняя диффузия, кинетика, сорбция, тяжелые металлы, ионы Zn (II), карбонатная порода, активация, сорбент*

EFFECT OF ACID ACTIVATION OF CARBONATE ROCKS ON EXTERNAL DIFFUSION DURING SORPTION OF Zn (II) IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS

V.O. Yahneva, A.V. Lysenko

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

Southwest State University

Sorption of Zn (II) ions by carbonate rocks and modified analogues has been studied. Optimal sorption conditions are investigated. The parameters of external diffusion are calculated, the dependences $-\ln(1-F)$ on t are constructed.

***Keywords:** external diffusion, sorption, heavy metals, sorbent.*

В настоящее время проблема загрязнения сточных вод гальваническими производствами достаточно актуальна [1]. По данным Всемирной организации здравоохранения сточные воды, которые содержат тяжелые металлы, относятся к наиболее опасным для живых организмов. Одним из тяжелых металлов, содержащихся в сточных водах, являются ионы Zn (II).

Целью работы являлось исследование сорбционной способности карбонатных пород Коньшевского и Беловского месторождения Курской области по отношению к ионам цинка, изучение внешней кинетики сорбции.

Химический состав природных сорбентов отражает их минеральные составляющие. Карбонатные породы Коньшевского и Беловского районов имеют следующий химический состав, соответственно: CaCO_3 – 49,50 и 48,21%; SiO_2 – 9,85 и 10,58%; Al_2O_3 – 1,573 и 1,84%; Fe_2O_3 – 1,573 и 1,84%; SO_4^{2-} – 0,00445 и 0,007%; Cl^- – 0,005 и 0,0025 мг/л [2].

Крупнозернистые карбонатные породы измельчают в ступках, необходимое количество реагента отбирают просеиванием «сухим» способом.

Для повышения сорбционной способности природного сорбента использовался метод кислотной активации. В качестве модификаторов использовали 0,05 н. водные растворы следующих кислот: соляной (HCl), серной (H_2SO_4) и уксусной (CH_3COOH) [3].

Для получения кинетических кривых адсорбции в серию растворов помещали навески ($m = 0,6$ г) карбонатных пород Беловского и Коньшевского районов, заливали их водным раствором ($V = 20$ мл) и перемешивали от 1 до 60 мин при температуре 298 К. Начальная концентрация (C_0 , г/л) растворов оставалась постоянной. Ионы тяжелых металлов извлекали при начальной концентрации 0,1 г/л.

Через определённые промежутки времени раствор фильтровали и определяли равновесную концентрацию (C_p) ионов Zn (II) методом спектрофотометрии с сульфурсазеном в слабокислой среде.

Сделать вывод о течение сорбции, а также соотнести относительные скорости сорбции позволило представление экспериментальных данных как зависимость степени достижения равновесия сорбции (F) от времени (t) [4]:

$$F = \Gamma_t / \Gamma_e,$$

где Γ_t – количество сорбированного вещества в момент времени t , ммоль/г;

Γ_e – количество сорбированного вещества в состоянии равновесия, ммоль/г.

Для внешненидиффузионных процессов, когда стадией, которая контролирует скорость всего процесса сорбции, является диффузия в неподвижной пленке раствора вокруг сорбента, кинетическая кривая описывается уравнением [5]:

$$\ln(1 - F) = -\gamma \cdot t,$$

где t – время, мин;

γ – некоторая постоянная для данных условий величина;

F – степень достижения равновесия.

Результаты кинетических параметров внешней диффузии представлены в виде графиков на рис. 1-3.



Рис. 1. Зависимость $\ln(1 - F)$ от t сорбции ионов Zn (II) карбонатными породами, модифицированными раствором HCl

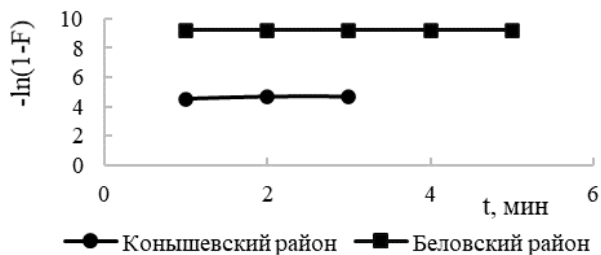


Рис. 2. Зависимость $\ln(1 - F)$ от t сорбции ионов Zn (II) карбонатными породами, модифицированными раствором CH₃COOH

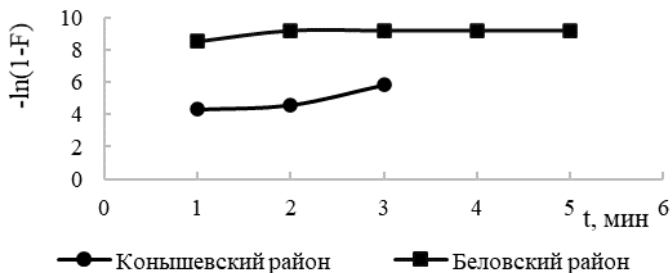


Рис. 3. Зависимость $\ln(1 - F)$ от t сорбции ионов Zn (II) карбонатными породами, модифицированными раствором H₂SO₄

Влияние внешней диффузии на процесс сорбции Zn (II) карбонатными породами Конышевского района располагается в следующем ряду модификаций: HCl, H₂SO₄, CH₃COOH.

Влияние внешней диффузии на процесс сорбции Zn (II) карбонатными породами Беловского района располагается в следующем ряду модификаций: HCl, CH₃COOH, H₂SO₄.

На основе данных исследований можно сделать вывод, что HCl лучше других кислот повышает сорбционную способность данных сорбентов.

Следовательно, проведенные исследования кинетической сорбции показали, что внешняя диффузия сорбции карбонатными породами изменяется, применяя кислотные реагенты можно изменять химический состав природных сорбентов, а также изменять их сорбционные свойства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манаенкова Е.С. Физико-химические закономерности процесса очистки сточных вод гальванических производств от ионов меди (II) / Е.С. Манаенкова, А.В. Лысенко // Достижения молодых ученых: химические науки: тез. докл. Всерос. молодежной конф. Уфа, 17-20 мая 2017 г.; Министерство образования и науки РФ, Башкирский гос. ун-т. Уфа: Башкирский гос. ун-т, 2017. С. 241-243.
2. Будыкина Т.А. Использование природного сорбента «Аквاماг» для очистки сточных вод / Т.А. Будыкина, В.С. Мальцева, А.В. Сазонова // Актуальные проблемы химической науки, практики и образования: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. Курск: Курский гос. техн. ун-т, 2009. С. 90-92.
3. Косяшников Ю.А. Кислотная модификация карбонатных пород при извлечении цинка из водных растворов // Сб. статей II Междунар. науч.-практ. конф. Петрозаводск, 2022. С. 122-125.
4. Лысенко А.В. Кинетика и константы скорости диффузии при сорбции прямых красителей древесными опилками / А.В. Лысенко, К.Ф. Янкив, К.А. Левина // За нами будущее: взгляд молодых ученых на инновационное развитие общества: сб. научных статей Всерос. молодежной науч. конф. В 4 т. Отв. редактор А.А. Горохов. Курск: Юго-Западный гос. ун-т, 2020. С. 154-158
5. Мальцева В.С. Кинетика сорбции ионов меди (II) из водных растворов нетрадиционными материалами / В.С. Мальцева, А.В. Сазонова, Б.О. Роиц // Известия Юго-Западного гос. ун-та. Серия: Физика и химия. 2012. № 2. С. 163-166.

ПЕРЕРАБОТКА ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

**В.Б. Бредихина¹, А.Н. Кончешенкова¹, А.А. Бредихин²,
Н.В. Ключникова¹**

Научный руководитель - **Н.В. Ключникова**, канд. техн. наук,
доцент

¹Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

²Белгородский государственный национальный исследовательский
университет

Рассматриваются различные способы переработки термореактивных композитов. Указываются преимущества и недостатки методов переработки термореактивных композитов. Учитывается экологическая составляющая методов переработки.

Ключевые слова: переработка полимеров, термореактивные полимеры, композиты

PROCESSING OF THERMOSET POLYMER COMPOSITES

**V.B. Bredikhina¹, A.N. Konchenkova¹, A.A. Bredikhin²,
N.V. Klyuchnikova¹**

Scientific Supervisor - **N.V. Klyuchnikova**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

¹V.G. Shukhov Belgorod State Technological University

²Belgorod State National Research University

Various methods of processing thermosetting composites are considered. The advantages and disadvantages of methods for processing thermosetting composites are indicated. The ecological component of processing methods is taken into account.

Keywords: polymer processing, thermosetting polymer, composites

Чрезмерное использование пластика привело к серьезным глобальным проблемам для внешней среды и здоровья человека. Управление пластиковыми отходами представляет на сегодняшний день серьезную проблему [1].

В материалах из терморезактивных полимеров, достаточно трудно восстановить полимерную матрицу и армирующие волокна без ухудшения свойств, это связано с их сшивающей природой. Потенциальными источниками для переработки терморезактивных композитов являются, в основном, неиспользованные волокна и смолы, продукты с истекшим сроком службы, а также волокна или смолы, не соответствующие стандартам.

Для терморезактивного полимерного композита используются механические процессы для уменьшения размера отходов с получением мелких частиц, тогда как химические и термические процессы используются для преобразования материала в другую полезную форму или получения энергии из этого материала. В терморезактивных полимерных композитах наиболее ценной составляющей являются армированные волокна, например, углеродное волокно, стекловолокно и т. д., которые дороже полимерной матрицы. Поэтому выгодно и гораздо предпочтительнее удалять эти волокнистые материалы из композитных отходов [2].

Методы термической переработки

Сжигание или рекуперация энергии

Композиты для формовки листов плотно загружены неорганическими компонентами, такими как стекловолокно и наполнители. Смола является единственным органическим материалом, который может гореть и выделяет максимальное количество энергии (макс. 35% от всего веса). Минеральные наполнители, такие как карбонат кальция, разлагаются при значительных температурах, поскольку поглощают энергию, так же, некоторые составы содержат антипирены. Эти обстоятельства ограничивают количество энергии, получаемой при сжигании.

Псевдооживленный слой

Основной целью этого процесса является восстановление армирующих волокон, поскольку они имеют более высокую ценность вторичного сырья по сравнению с компонентами наполнителя и смолы. Этот метод работает путем термического разложения нарезанных сегментов композита в слое кварцевого песка и его псевдооживления с использованием воздуха при температуре около 450–500 °С. Органическая смола улетучивается, а наполнитель и частицы волокна отходят от смолы. Летучие органические компоненты сжигаются для рекуперации энергии и тепла, а частицы наполнителя и волокон могут повторно использоваться в современных композитах. Такие регенерированные волокна используются в качестве армирующих материалов в новых компаундах [3].

Пиролиз

Метод пиролиза приводит к разложению материала на более простые молекулы, путем нагревания, без доступа кислорода. Эта процедура применяется к полимерному композиту для разрушения смоляной матри-

цы на более очищенный газ и жидкость, которые затем извлекаются и используются вместе с новым армирующим и наполняющим материалом, возможно, в новом композите. Термическая способность исследованной маслянистой жидкости составила примерно 35 МДж/кг, что позволяет предположить, что ее можно использовать в качестве источника топлива. Хотя обнаруженные газообразные продукты представляли собой СаО и СО₂ с некоторым количеством Н₂, СН₄ и некоторых других углеводородов с небольшой теплопроводностью 15 МДж/кг. Это ограничивает их использование в качестве источника энергии.

Химическая переработка

Процедура химической переработки включает в себя разложение полимерной матрицы композита на химические вещества, которые в дальнейшем можно использовать в качестве топлива или для производства новых полимеров. Используя этот процесс, можно извлекать полимер, а также повторно используемые наполнители и армирующие материалы из термореактивного полимерного композита.

Сольволиз

Химическая обработка путем сольволиза включает разложение смолы с помощью подходящего растворителя. Этот процесс переработки широко используется при переработке углепластика для восстановления волокна. Вода является широко используемым растворителем. Вода с другими соразтворителями, такими как спирт, фенол и амин успешно используются в процессе сольволиза. Часто используемые в сольволизе спирты включают метанол, ацетон, гликоли и пропанол. В качестве щелочного катализатора используют гидроксид натрия (NaOH) или гидроксид калия (KOH). Кислотные катализаторы используются только в том случае, если смола обладает высокой устойчивостью к разложению.

Сверхкритическая жидкость

Когда один компонент жидкости имеет давление и температуру выше критической температуры и давления, тогда он называется сверхкритической жидкостью. Сверхкритическая жидкость не является жидкостью или паром.

Преимущество переработки композитов с помощью химического процесса по сравнению с термическим процессом заключается в способности предотвратить образование обугливания, которое в противном случае загрязняет поверхность волокна. Но недостатком метода химической переработки является то, что для него требуются дорогостоящие реакторы, которые также должны выдерживать высокие температуры, давления и коррозию. Спирты и сверхкритическая вода продемонстрировали потенциал для химической обработки, и они гораздо более безвредны для окружающей среды из-за их низкой токсичности, легко доступны и имеют значительно более низкую стоимость обработки [4].

Гидролиз

Гидролиз включает разложение химического материала в процессе сольволиза с использованием воды в качестве растворителя. Лабораторные исследования показали, что полиэфирная смола может разлагаться на жидкие продукты, аналогичные промышленным химикатам, которые изначально использовались в производстве. Восстановленный наполнитель, а также волокнистые материалы могут заменить около 50% материала в новых композитах с теми же механическими свойствами.

Механическая переработка

Метод механической переработки включает в себя уменьшение размера отходов для превращения их в различные материалы. Имеется большое количество исследований по механической переработке, и метод механической переработки является единственным коммерчески принятым методом переработки отходов.

Фрагментация высокого напряжения

Фрагментация высокого напряжения включает в себя разрушение твердых материалов повторяющимися электрическими импульсными разрядами между двумя электродами в течение короткого периода времени. Искровой канал, генерируемый электрическим разрядом, создает интенсивные ударные волны при высоких температурах (>104 K) и давлении (около 109–1010 Па), что создает внутреннее напряжение, превышающее предел прочности материала на разрыв, что приводит к разрушению [5].

Переработка любого материала до 100% практически недостижима. Захоронение сопряжено с экологическими проблемами, и на данный момент большое количество полимера сбрасывается внутри страны. Система обращения с отходами должна быть сосредоточена на различных процессах рециркуляции для извлечения энергии из углеводородов. Каждый день образуется огромное количество композитных отходов. Используя различные методы переработки, можно восстановить армирующие волокна, а оставшиеся материалы можно подвергнуть дальнейшей термической обработке для извлечения тепловой энергии из этой матрицы. Переработанный композитный материал сравнительно дешевле первичных композитных материалов, поэтому его адаптация будет экономически выгодна. Рекуперация энергии из различных полимерных композитов свидетельствует о том, что огромное количество энергии может быть рекуперировано и возобновляемо. В статье были описаны возможные способы переработки полимерного композита и преимущества, приписываемые каждому из них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Klyuchnikova N.V.* Special-purpose polymer composite material based on thermoplastic polymer and modified aerosil / N.V. Klyuchnikova, M.A. Klepikova, L.V. Denisova, D.S. Matveenko // Proceedings of the International Conference Industrial and Civil Construction. 2021. P.182-188.
2. Recycling by pyrolysis of thermoset composites: characteristics of the liquid and gaseous fuels obtained / A. Torres, I. De Marco, B.M. Caballero, M.F. Laresgoiti, J.A. Legarreta, M.A. Cabrero [et al.] // Fuel. 2000. 79. P. 897–902.
3. The characterisation and reuse of glass fibres recycled from scrap composites by the action of a fluidised bed process / J.R. Kennerley, R.M. Kelly, N.J. Fenwick, S.J. Pickering, C.D. Rudd // Composites. Part A. Appl. Sci. Manuf. 1998. 29. P. 839–45.
4. *Salto S.* Research activities on supercritical fluid science and technology in Japan A review // J Supercrit Fluids. 1995. №8. P. 177–204.
5. Application of pulsed HV discharges to material fragmentation and recycling / H. Bluhm, W. Frey, H. Giese, P. Hoppe, C. Schulthei, R. Strabner // IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. 2000. №7. P. 625–36.

СИНТЕЗ 5-АМИНОСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

С.В. Варваркин, Н.П. Герасимова

Научный руководитель – **Н.П. Герасимова**, д-р хим. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

Данная статья посвящена изучению различных методов получения 5-аминосалициловой кислоты (5-АСК), являющейся базовым препаратом для лечения и профилактики неспецифического язвенного колита и болезни Крона. Для дальнейшей детальной разработки выбран метод, основанный на карбоксилировании 4-аминофенола углекислым газом.

Ключевые слова: 5-аминосалициловая кислота, нитрование, карбоксилирование, салициловая кислота, месалазин

SYNTHESIS OF 5-AMINOSALICYLIC ACID

S.V. Varvarkin, N.P. Gerasimova

Scientific Supervisor - **N.P. Gerasimova**, Doctor of Chemical
Sciences, Professor

Yaroslavl State Technical University

This article is devoted to the study of various methods of obtaining 5-aminosalicylic acid (5-ASA), which is the basic drug for the treatment and prevention of ulcerative colitis and Crohn's disease. For further detailed development, a method based on the carboxylation of 4-aminophenol with carbon dioxide was chosen.

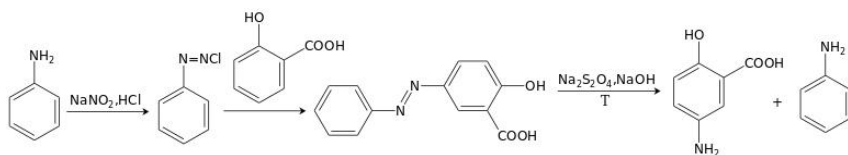
Keywords: 5-aminosalicylic acid, nitration, carboxylation, salicylic acid, mesalazine

Салициловая кислота и ее производные получили очень широкое медицинское применение, начиная с 1875 г., когда была обнаружена противовоспалительная активность салицилата натрия. Производные салициловой кислоты оказывают специфическое противовоспалительное действие, которое сочетается с болеутоляющим и жаропонижающим эффектом, однако по сравнению с анальгетиками-антипиретиками противовоспалительный эффект является у них доминирующим.

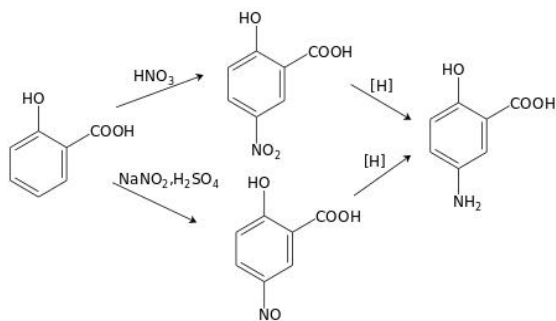
Особый интерес представляют аминосалициловые кислоты: 4-аминосалициловая кислота (ПАСК) – известное противотуберкулезное средство и ее 5-изомер. 5-Аминосалициловая кислота (препарат месалазин) относится к категории противовоспалительных кишечных средств и является базовым препаратом для лечения и профилактики таких заболеваний, как неспецифический язвенный колит, поражающий толстый кишечник, и болезнь Крона, поражающая весь желудочно-кишечный тракт [1]. Месалазин входит в перечень жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов для медицинского применения в Российской Федерации. Известно также применение 5-аминосалициловой кислоты в лакокрасочной промышленности при производстве различных хромовых красителей для ткани, благодаря наличию комплексообразующих группировок, и для производства светочувствительной бумаги.

Однако, насколько нам известно, промышленное производство 5-аминосалициловой кислоты в настоящее время в России отсутствует. Поэтому разработка новых эффективных методов синтеза этой активной фармацевтической субстанции является актуальной задачей.

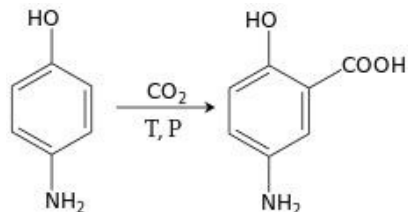
Основным способом получения 5-АСК в настоящее время является восстановление 5-фенилазосалициловой кислоты.



Другие методы основаны на реакциях нитрования и нитрозирования салициловой кислоты с последующим восстановлением нитро- и нитрозосоединений до амина [2].



Наиболее перспективным методом получения 5-АСК, на наш взгляд, является карбоксилирование 4-аминофенола углекислым газом [3].



Данный метод основан на реакции Кольбе-Шмидта, по которой в промышленности получают салициловую кислоту из фенола, ПАСК – из 3-аминофенола и т.д. В настоящее время в Ярославском государственном техническом университете проводятся исследования, направленные на разработку приемлемого для промышленной реализации способа получения 5-АСК, который позволит получать продукт фармакопейной степени чистоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shapkina M.V.* The use of 5-aminosalicylic acid preparations for the treatment of ulcerative colitis in various dosage regimens. / M.V. Shapkina, I.L. Khalif // *Med. Sov.* 2017. N 15. P. 44-50.
2. *Iranpoor N.* Nitration of Aromatic Compounds by $Zn(NO_3)_2 \cdot 2N_2O_4$ and Its Charcoal Supported System. / N. Iranpoor, H. Firouzabadi, R. Heydari, M. Shiri, // *Synth. Commun.* 2005. Vol. 2, N 35. P. 263–270.
3. Synthesis of 5-Aminosalicylic Acid using Kolbe-Schmidt Reaction Under Supercritical Conditions / L. Hailang, L. Junqi, X. Cunzhang, T. Mingchen, G. Fei // *Asian J. Chem.* 2011. Vol. 23, N 9. P. 3819-3823.

ПЕНОПОЛИУРЕТАНЫ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИОЛОВ РАПСОВОГО МАСЛА

С.Ю. Васильева, Е.А. Темяшкин, Н.И. Кольцов, О.Е. Насакин

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

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Проведен анализ недостатков касторового масла для его применения в промышленности. Рассмотрены возможности получения биополиолов на основе рапсового масла и пенополиуретанов на их основе. Изучены их свойства.

***Ключевые слова:** пенополиуретаны, касторовое масло, рапсовое масло, биополиолы, гидроксильное число, динамическая вязкость, прочность при сжатии, кажущаяся плотность*

PO POLYURETHANE FOAMS BASED ON BIOPOLYOL RAPESEED OIL

S.Yu. Vasilyeva, E.A. Temyashkin N.I. Koltsov, O.E. Nasakin

Scientific Supervisor - **N.I. Koltsov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

I.N. Ulyanov Chuvash State University

An analysis of the shortcomings of castor oil for its use in industry was carried out. The possibilities of obtaining biopolyols based on rapeseed oil and polyurethane foams based on them are considered. Their properties are studied.

***Keywords:** polyurethane foams, castor oil, rapeseed oil, biopolyols, hydroxyl number, dynamic viscosity, compressive strength, apparent density*

Современная наука тесно связана с экологией, поэтому перспективным направлением в химии и технологии полимеров является разработка полимерных материалов на основе экологически безопасных материалов, в том числе на основе возобновляемых ресурсов, таких как растительное сырье и продукты на основе этого сырья. Так, например, для получения жестких пенополиуретанов (ППУ), которые используются чаще всего в качестве утеплителей и конструкционных материалов в строительстве, также предпочитают использовать растительное сырье,

например растительные масла или их производные. Особый интерес возникает к касторовому маслу, так как данное соединение содержит в своем составе гидроксильные группы, которые представляют ценность в качестве сырья для химического производства. Ежегодно в промышленности используется 270-370 миллионов килограммов касторового масла, а его производные нашли применение в производстве мыла, смазочных материалов, гидравлических и тормозных жидкостей, красок, красителей, защитных покрытий, типографских красок, морозостойкой пластмассы, биополиолов для ППУ и т.д.

Однако производство касторового масла подразумевает под собой сложный химический процесс, в результате которого образуются отходы в виде пыли семян клещевины. Она относится к аллергенам 1-го класса опасности. В жмыхе, который также образуется в процессе изготовления масла, содержится рицин – ядовитое вещество 1-го класса опасности. Известно, что рицин в 6 раз более ядовит, чем цианистый калий. Поскольку небольшой дозы рицина размером с булавочную головку достаточно, чтобы убить взрослого человека, способы применения рицина в качестве оружия массового поражения изучались военными ведомствами разных стран, начиная с Первой мировой войны. При попадании на кожу или слизистую оболочку рицин может вызывать ожоги слизистой, кашель и даже удушье [1]. При накоплении рицина в организме, как животного, так и человека, могут произойти мутации. Отмечаются случаи приобретения или обострения аллергических заболеваний, повреждения органов пищеварения и дыхания. Данное вещество опасно для человека и животных, подтверждено официально. Кроме рицина, в процессе производства касторового масла возможны выбросы в атмосферу других остаточных компонентов, обладающих повышенной летучестью, например, аллерген, инактивировать который труднее, чем рицин. Считают, что этот аллерген представляет собой протеозу. Аллерген клещевины растворим в воде, жаростоек и не подвергается диализу. Выход аллергена из целых семян составляет 6%, положительная кожная реакция у человека проявлялась при дозировке 0,01 мг этого препарата. Рицин чрезвычайно ядовит, особенно в виде аэрозоля: для человека средняя смертельная доза составляет 0,3 мг/кг [1] перорально. Токсичность рицина составляет: 0,00015 мг/кг [2]. В соответствии со статьями 37, 38, 39 Федерального закона № 7-ФЗ от 10 января 2002 года «Об охране окружающей среды» предприятия, которые занимаются производством касторового масла, обязаны осуществлять свою деятельность по утвержденным проектам с соблюдением требований технических регламентов в области охраны окружающей среды. В связи с вышесказанным, считаем необходимым найти другой экологический материал, заменяющий касторовое масло при производстве полиолов для ППУ, например рапсовое масло. В по-

следние десятилетия усилился интерес к рапсовому маслу в связи с его использованием в технических целях, в частности, для производства стали, предназначенной для химической промышленности, для создания новых полимеров, а также в качестве возобновляемого источника биотоплива [3].

Рапсовое масло представляет собой преимущественно глицериды олеиновой и линолевой кислот, соответственно они имеют непредельные группы, которые возможно подвергнуть эпоксицированию по методике [4], с последующим раскрытием оксиранового кольца под воздействием воды, метилового спирта и этиленгликоля в кислой среде (схема 1).

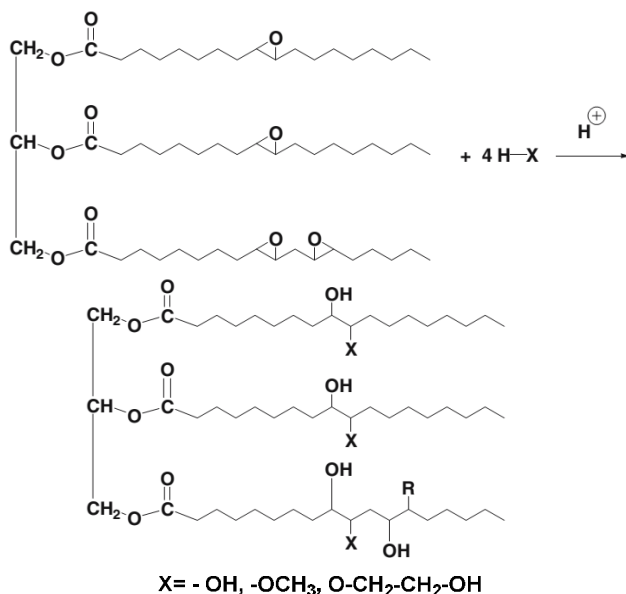


Схема 1

Таким образом, были получены биополиолы на основе рапсового масла с различными группами атомов после раскрытия оксиранового кольца: биополиол с гидроксильными группами (RBP-OH), биополиол с метильными группами (RBP-Met), биополиол с этиленгликольными группами (RBP-Glyc).

Для синтезированных биополиолов были исследованы динамическая вязкость, гидроксильное число (табл. 1).

Полученные полиолы были использованы для получения ППУ. Для этого синтезированные полиолы добавляли триэтаноламин в количе-

стве 5% от массы полиола в качестве катализатора уретанирования и 1% кремнийорганического пеностабилизатора Пента 483, 2 м.ч. воды. Таким образом был получен гидроксилсодержащий компонент А. В качестве компонента Б использовали полиизоцианат (ПИЦ) марки Wannate PM-200 на основе дифенилметан-4,4'-диизоцианата с содержанием изоцианатных групп 32%. Для получения ППУ смесь из компонентов А и Б тщательно перемешивали с помощью верхнеприводной мешалки со скоростью 100 об/мин в течение 20 секунд. Свойства полученных полиолов и ППУ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Свойства биополиолов и ППУ

Био-полиол	Динамическая вязкость, мПа×с	Гидроксильное число, мг КОН/г	ρ_k , кг/м ³	$\sigma_{10\%}$, МПа
RBP-Met	1920	160	45	2,12
RBP-ОН	2950	235	65	3,11
RBP-Glyc	2290	215	60	2,82

Как видно из таблицы, увеличение содержания гидроксильных групп в биополиоле повышает их динамическую вязкость. Так же с увеличением содержания концентрации гидроксильных групп в биополиоле повышается кажущаяся плотность и прочность ППУ при 10% деформации сжатия ($\sigma_{10\%}$), что связано с образование густосетчатых полимеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Panzani R.C.* Respiratory castor bean dust allergy in the south of France with special reference to Marseilles // *Int. Arch. Allergy Appl. Immunol.* 1957, 11, 224–236.
2. *Franz D.R.*; *Jaax, N.K.* Ricin Toxin. In *Medical Aspects of Chemical and Biological Warfare*; *Sidell, F.R., Takafuji, E.T., Franz, D.R., Eds.*; Walter Reed Army Medical Center, Borden Institute: Washington, DC, USA, 1997. Vol. 3. P. 631–642.
3. *Carlsson A.S., Clayton D., Salentijn E., Toonen M.* Rape seed (*Brassica napus*) // *Oil Crop Platforms For Industrial Uses* / Ed. D. Bowles. Newbury, 2007. P. 17–48.
4. *Картавец П.А.* Получение эпокси- и дигидроксипроизводных поверхностно-активных веществ на основе подсолнечного масла / *П.А. Картавец, П.А. Перегудова, И.Э. Перельгина, Х.С. Шихалиев* // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация.* 2015. №4. С.19-22.

НАПОЛНЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА

**И.И. Захлевная, А.С. Щербаков, Д.С. Матвеевко,
Н.В. Ключникова**

Научный руководитель – **Н.В. Ключникова**, канд. техн. наук,
доцент

Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова

Рассматриваются различные наполненные композиционные материалы на основе полипропилена и производится выбор наиболее оптимального наполнителя для улучшения эксплуатационных характеристик композита.

Ключевые слова: полипропилен, карбонат кальция, диоксид кремния, слоистые силикаты

FILLED COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYPROPYLENE

**I.I. Zahlevnaya, A.S. Shcherbakov, D.S. Matveenko,
N.V. Klyuchnikova**

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

V. G. Shukhov Belgorod State Technological University

Various filled composite materials based on polypropylene are considered and the most optimal filler is selected to improve the performance of the composite.

Keywords: polypropylene, calcium carbonate, silicon dioxide, layered silicates.

Композиционные материалы – многокомпонентные вещества, которые состоят из матрицы (пластическая основа), армированной наполнителями, обладающими различными физико-химическими свойствами. Сочетание различных веществ приводит к созданию нового материала, характеристики которого количественно и качественно отличаются от свойств любого из его составляющих. Изменяя состав матрицы и наполнителя, их соотношение, ориентацию наполнителя, приобретают обширный диапазон материалов с необходимым комплектом свойств.

Из множества различных наполнителей для нанокompозитов на основе полипропилена, в статье рассматриваются три самых распространенных. Это такие наполнители как: диоксид кремния, карбонат кальция и слоистые силикаты.

Наилучший комплекс наполнителей с полимерной матрицей позволяет повысить физико-механические, электротехнические, адгезионные и иные характеристики НК.

Из-за своих диэлектрических и оптических свойств, одним из многообещающих наполнителей считается ультра дисперсный диоксид кремния. В частности, большой интерес представляет изучение его воздействия на структурные и микромеханические характеристики. При добавлении в полипропилен компатибилизирующего агента, уменьшается микротвердость. А при добавлении в композит наночастиц диоксида кремния, начиная с 0,22% об., содействовало ее увеличению. При наполнении 0,88% об. микротвердость композита возрастает даже на 20% в сравнении с исходным ПП.

Повышение микротвердости и износостойкости композитов связано с пребыванием наночастиц, твердость которых значительно выше, нежели у полимерной матрицы, а также это связано с изменением их надмолекулярной структуры.

Таким образом, введение в ПП наночастиц диоксида кремния в диапазоне от 0,22 до 0,88% об. содействует увеличению микротвердости. А модифицирование его микротвердости и износостойкости во многом является следствием снижения размеров сферолитов.

Рассмотрим композиционный материал на основе ПП, наполненный карбонатом кальция. С повышением концентрации наноразмерного карбоната кальция, показатель текучести расплава НК растет, что приводит к облегчению процесса переработки. Повышение показателя текучести расплава связано с затруднением образования физических связей и, как итог, уменьшение их количества, между МК полипропилена из-за присутствия в композите карбоната кальция. В отличие от механических свойств, ПТР постоянно повышается с увеличением концентрации наполнителя. Это связано различным поведением наноразмерного карбоната кальция в расплаве ПП и его кристаллическом состоянии. При температуре плавления полипропилена адгезионная связь между матрицей и наполнителем перестает существовать, и частицы наполнителя начинают сопротивляться образованию адгезионных связей между макромолекулами ПП, увеличивая показатель текучести расплава.

Моментальная твердость и твердость после прохождения процессов релаксации зависят от пребывания наноразмерного наполнителя, а не зависят от его концентрации. Несмотря на то, что карбонат кальция относится к податливым материалам, общая твердость композита увеличивается

ются. Частички наполнителя служат зародышеобразователями кристаллизации полипропилена. Повышение количества зародышеобразователей содействует формированию бездефектных кристаллитов маленького размера, что повышает твердость композита.

Исходя из морфологических и физико-механических характеристик ПП, наполненного наноразмерным карбонатом кальция, можно сделать вывод, что наиболее влияние на модуль упругости, предел текучести при растяжении и ударную вязкость по Шарли, достигается при степени наполнения равной 3% мас.

Введение слоистых силикатов в ПП приводит к видимым итогам только в случае получения эксфолиированной текстуры нанокompозита. Анализируя литературу, был выбран оптимальный состав слоистого силиката в полипропилене 5% мас. Модификации подверглись очищенный бентонит и органофильный бентонит, содержащий катион Na^+ на поверхности. В результате модификации при помощи бентонита в ПП получена интеркалированная структура. О наличии пластин толщиной в единицы нанометров говорит изменение физико-механических свойств. Наибольшим модулем упругости обладает нанокompозит полипропилен/ природный бентонит, модифицированный 60% меламина, а также композит полипропилен/ органофильный Na^+ бентонит, модифицированный 5% мас., метакрилат-гуанидина. Рассматривая характеристики нанокompозитов полипропилен/природный бентонит, можно сделать вывод, что лучшие физико-механические свойства, обеспечивает меламина, с содержанием 60% в слоистом силикате.

Опираясь на проанализированные физико-механические свойства композиционных материалов на основе полипропилена с такими наполнителями как: карбонат кальция, диоксид кремния и слоистый силикат, установлено, что при наполнителе карбонат кальция наиболее влияние на модуль упругости, предел текучести при растяжении и ударную вязкость по Шарли достигается при степени наполнения 3% мас. При изучении влияния химического строения слоистого силиката на свойства нанокompозитов, было получено, что наилучшие физико-механические свойства, обеспечивает меламина, который содержит в себе 60% слоистого силиката. При рассмотрении полимерного композита на основе ПП с содержанием диоксида кремния в качестве наполнителя, способствует повышению микротвердости и по мере увеличения содержания наночастиц улучшается износостойкость композита.

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее подходящим в качестве наполнителя для композита на основе ПП, является карбонат кальция благодаря своей распространенности и простоте в использовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондалетова Л.И.* Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та. 2013. 118 с.
2. *Тагер А.А.* Физикохимия полимеров. М.: Химия. 1978. 502 с.
3. *Микитаев А.К.* Полимерные нанокомпозиты: многообразие структурных форм и приложений / А.К. Микитаев, Г.В. Козлов, Г.Е. Заиков // Ин-т биохим. физики им. Н.М. Эммануэля РАН. М.: Наука 2009. 278 с.
4. Влияние шунгита на эксплуатационные свойства полимерного композиционного материала / Н.В. Ключникова, И. Генов, А.О. Пискарева, К.А. Урванов, С.А. Гордеев // Вестник Белгородского гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 96-105
5. *Малкин А.Я.* Методы измерения механических свойств полимеров / А.Я. Малкин, А.А. Аскадский, В.В. Коврига. М.: Химия. 1978.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ДЕФЕКТА НА ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТОВ

А.И. Иванова, Д.В. Сакичев, А.Б. Ветошкин, С.В. Гудков

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

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрено влияние дефектов на деформационно-прочностные свойства пленок на основе термопластов. Показано, что даже небольшой дефект делает невозможной перестройку исходной надмолекулярной структуры материала после достижения предела текучести.

Ключевые слова: термопласты, деформационно-прочностные свойства.

INFLUENCE OF THE DEFECT SIZE ON THE DEFORMATION STRENGTH PROPERTIES OF THREE-LAYER THERMOPLASTIC FILMS

A.I.Ivanova, D.V. Sakichev, A.B. Vetoshkin, S.V. Gudkov

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

Yaroslavl State Technical University

The effect of defects on the deformation strength properties of thermoplastic films was examined. It is shown that even a small defect makes rearrangement of initial supramolecular structure of material impossible after achievement of yield strength.

Keywords: thermoplastics, deformation strength properties

В процессе использования пленочных материалов на них могут образовываться различные механические повреждения (проколы, порезы, задиры и т.п.), которые, в зависимости от размера, могут иногда несущественно, а иногда и фатально влиять на эксплуатационные характеристики и долговечность изделия [1]. В связи с этим представляло интерес изучить влияние величины дефекта на деформационно-прочностные свойства пленок на основе термопластов.

В качестве объектов исследования в работе использовалась упаковочная трехслойная пленка, изготовленная на основе комбинации линейного (ЛПЭНП) и металлоценового полиэтилена полученная методом выдувной экструзии [2, с. 175]. Состав пленки по отдельным слоям приведен в табл. 1.

Таблица 1. Состав трехслойной пленки на основе комбинации двух типов полиэтилена

Наименование компонентов	Массовая доля компонентов в слоях, %		
	слой А	слой В	слой С
Металлоценовый полиэтилен	57,0	-	49,0
ЛПЭНП	40,0	99,0	40,0
Остальное	3,0	1,0	11,0

Деформационно-прочностные свойства пленок при одноосном растяжении определялись с помощью разрывной машины ИТС 8220-10, для этого использовались образцы в виде двухсторонних лопаток с шириной рабочего участка 16 мм, которые вырубались как в продольном, так и в поперечном направлениях относительно оси пленочного рукава. На образцы пленок по центру рабочего участка в поперечном направлении наносились надрезы длиной: 1,0; 2,0; 3,0 и 5,0 мм. При расчете условных напряжений площадь, занятая надрезом вычиталась из общей площади поперечного сечения образца.

Деформационные кривые для образцов пленок без надреза и с надрезом длиной 1 мм, вырубленные как вдоль, так и поперек оси пленочного рукава, приведены на рис. 1 и 2 [3].

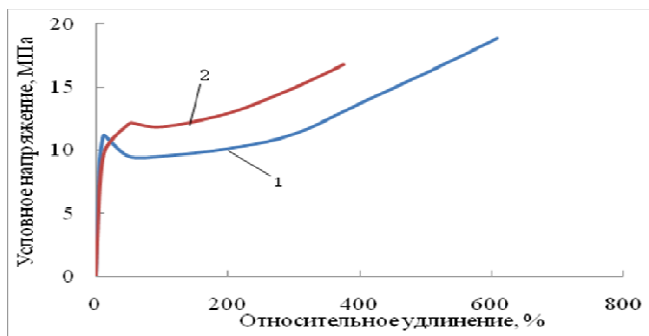


Рис. 1. Деформационные кривые пленок при растяжении вдоль (1) и поперек (2) направления пленочного рукава

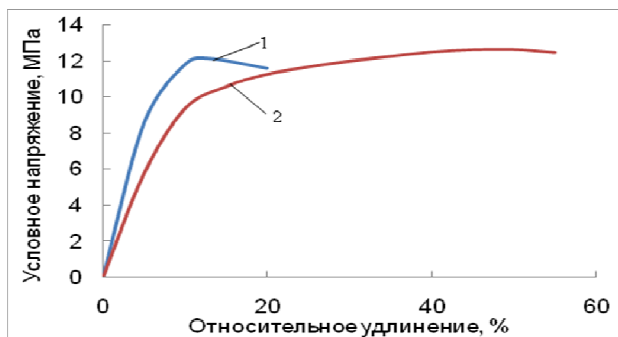


Рис. 2. Деформационные кривые пленок с поперечным надрезом длиной 1 мм при растяжении вдоль (1) и поперек (2) направления пленочного рукава

Из приведенных данных видно, что на деформационных кривых образцов без надреза (см. рис. 1) можно выделить три участка, соответствующих упругой деформации: исходная надмолекулярная структура материала; «течение» материала, т.е. перестройка исходной надмолекулярной структуры и деформация вновь образовавшейся структуры, ориентированной в направлении растяжения. При этом, «перестройка» надмолекулярной структуры в образцах, вырубленных в поперечном направлении, происходит при больших значениях напряжений, а относительное удлинение и разрывное напряжение оказываются заметно меньше по сравнению с образцами, вырубленными вдоль оси рукава, то есть данные пленки обладают значительной анизотропией.

При появлении надреза в образце участок «течения» на деформационной кривой полностью вырождается, и разрушение образца происходит сразу после достижения предела текучести (см. рис. 2). При этом условная прочность и относительное удлинение при разрыве в поперечном направлении оказывается несколько выше по сравнению с таковыми для образцов, вырубленных в продольном направлении.

С увеличением длины надреза (таблица 2), предел текучести, как в продольном, так и в поперечном направлении практически не меняется (изменения лежат в пределах ошибки опыта). То же относится и к относительному удлинению при разрушении определенном в продольном направлении, в то время как относительное удлинение при разрушении образцов в поперечном направлении с увеличением длины надреза от 1 до 5 мм существенно снижается ~ в 5 раз.

Таким образом, можно заключить, что трехслойные рукавные пленки на основе указанных типов полиэтиленов обладают значительной анизотропией деформационно-прочностных свойств, что необходимо учитывать при их эксплуатации.

Таблица 2. Прочностные показатели пленок при различной величине надреза

Показатели	Длина надреза, мм				
	0,0	1,0	2,0	3,0	5,0
Растяжение вдоль оси пленочного рукава					
Предел текучести, МПа	11,2	11,1	11,6	12,8	12,0
Относительное удлинение,	12,0	12,0	11,0	12,0	10,0
Растяжение поперек оси пленочного рукава					
Предел текучести, МПа	12,1	12,7	12,1	11,8	12,1
Относительное удлинение,	58,0	50,0	31,0	16,0	12,0

Появление даже незначительного дефекта не приводит с одной стороны к существенному снижению предела текучести материала, но при этом полностью исключает возможность ориентации структуры вдоль направления деформирования материала. С увеличением длины надреза в исследованных пределах сколь-либо заметного снижения разрушающего напряжения (предела текучести) не наблюдается, однако деформируемость материала в поперечном направлении снижается в несколько раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Куделин Д.В.*, Прочностные свойства резин при одноосном растяжении и в сложнапряженном состоянии в условиях концентрации напряжений / Д.В. Куделин, В.В. Белоусов, А.Б. Ветошкин // 8-я Регион. научн. конф. с международным участием: тез. докл. Иваново, 2010. С.197
2. *Гуль В.Е.*, Основы переработки пластмасс / В.Е. Гуль, М.С. Акутин. М.: Химия, 1985. 400 с.
3. *Иванова А.И.*, Деформационно-прочностные свойства пленок на основе термопластичных полимеров в различных режимах нагружения / А.И. Иванова, Д.Р. Курдюбов, А.Б. Ветошкин, С.В. Гудков // 74-я Всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебн. заведений с международным участием: сб. материалов конф. Ч. 1. [Электронный ресурс]. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2021. С. 163-166. 1 опт. диск.

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
КРЕМНИЙУРЕТАНОСодержащих олигомеров
на основе полиметилфенилсилоксана
и изофторондиизоцианата**

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

Взаимодействием полиметилфенилсилоксана с изофторондиизоцианатом при различном соотношении гидроксильных и изоцианатных групп синтезированы кремнийуретансодержащие олигомеры, для которых изучены реологические свойства. Установлено возрастание динамической вязкости олигомеров при увеличении концентрации изофторондиизоцианата в исходной смеси.

Ключевые слова: полиметилфенилсилоксан, изофторондиизоцианат, кремнийуретансодержащие олигомеры, вязкость

**STUDY OF RHEOLOGICAL PROPERTIES
OF SILICON-URETHANE-CONTAINING OLIGOMERS
BASED ON POLYMETHYLPHENYLSILOXANE
AND ISOPHORONDIISOCYANATE**

A.A. Kirillov, M.V. Kuz'min, N.I. Kol'tsov

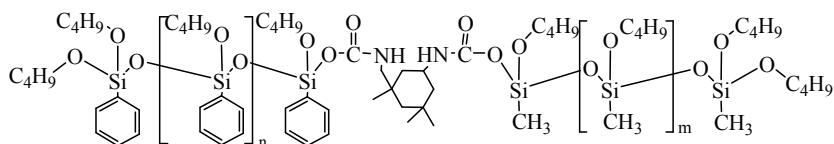
Scientific Supervisor – **N.I. Kol'tsov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

I.N. Ulyanov Chuvash State University

Silicon-urethane-containing oligomers were synthesized by the interaction of polymethylphenylsiloxane with isophorone diisocyanate at different ratios of hydroxyl and isocyanate groups, for which the rheological properties were studied. An increase in the dynamic viscosity of oligomers with an increase in the concentration of isophorone diisocyanate in the initial mixture was established.

Keywords: polymethylphenylsiloxane, isophorone diisocyanate, silicon urethane-containing oligomers, viscosity

Известно, что реологические свойства термостойких лакокрасочных материалов (ЛКМ) определяют их технологические свойства, а именно возможность к нанесению, текучесть, образование подтеков, а также длительность хранения. Оценка свойств термостойких ЛКМ, обуславливающих их поведение при динамическом движении, связана с вязкостью. Поэтому при получении удобных для нанесения материалов необходимо учитывать сохранение и поддержание вязкости ЛКМ на достаточно низком уровне так долго, чтобы при отверждении под влиянием поверхностного натяжения и силы тяжести успела сформироваться отвержденная пленка с ровной и гладкой поверхностью. В то же время пока на горизонтальных поверхностях покрытие остается неотвержденным, на вертикальных - под влиянием сил сдвига могут образоваться подтеки. Поэтому для обеспечения хорошей растекаемости и получения качественного покрытия вязкость ЛКМ должна быть относительно низкой при нанесении, а после нанесения - стать достаточно высокой для предотвращения появления подтеков. На реологические свойства термостойких ЛКМ влияют химический состав и молекулярная масса связующего, качественное и количественное содержание растворителя, степень пигментирования, реологические добавки, тиксотропные агенты, загустители и наполнители [1]. В связи с этим для получения термостойких пленкообразователей с повышенной вязкостью нами путем взаимодействия полиметилфенилсилоксана с изофорондиизоцианатом (ИФДИ) при различном соотношении гидроксильных и изоцианатных групп были синтезированы кремнийуретансодержащие олигомеры следующего строения [2]:



Для синтезированных олигомеров на вискозиметре Брукфильда была изучена динамическая вязкость, значения которой представлены в табл. 1.

Таблица 1. Реологические свойства кремнийуретансодержащих олигомеров

Содержание (ИФДИ), %	Соотношение ОН:NCO	Вязкость, мПа·с
0	-	49
5	3:1	121
10	2:1	165
15	1:1	234

Как видно из таблицы, увеличение концентрации изофорондиизоцианата приводит к резкому возрастанию динамической вязкости кремнийуретансодержащих олигомеров, что связано с ростом их молекулярной массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Немцева М.П.* Реологические свойства коллоидных систем: учебное пособие / М.П. Немцева, Д.В. Филиппов, А.А. Федорова. Иваново: Ивановский гос. хим.-технол. ун-т, 2016. 61 с.
2. *Кириллов А.А.* Синтез и исследование кремнийуретансодержащих олигомеров на основе полиметилфенилсилоксана и диизоцианатов / А.А. Кириллов, Д.Ю. Елисеев, М.В. Кузьмин, Н.И. Кольцов // Семьдесят четвертая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов высших учебных заведений с международным участием, 21 апреля 2021г., Ярославль: сб. материалов конф. Ч.1. [Электронный ресурс]. Ярославль. Изд-во ЯГТУ, 2021. С. 120-124. 1 опт. диск.
3. ГОСТ Р 51691-2008. Материалы лакокрасочные. Эмали. Общие технические условия.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА

**Ю.В. Ковылова, А.Н. Конченкова, А.Л. Ковылов,
Н.В. Ключникова**

Научный руководитель – **Н.В. Ключникова**, канд. техн. наук,
доцент

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

Рассматривается актуальность композиционных полимерных материалов на основе бутадиен-стирольного каучука и разного рода наполнителей.

***Ключевые слова:** композиционные материалы на основе бутадиен-стирольного каучука, наполнители, крошка красного кирпича, шунгит, термин*

COMPOSITE MATERIALS BASED ON STYRENE- BUTADIENE RUBBER

**Y.V. Kovylova, A.N. Konchenkova, A.L. Kovylov,
N.V. Klyuchnikova**

Scientific Supervisor – **N.V. Klyuchnikova**, Candidate of Technical
Science, Associate Professor

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University

The relevance of composite polymeric materials based on styrene-butadiene rubber and various fillers is considered.

***Keywords:** composite materials based on styrene-butadiene rubber, fillers, crumb of red brick, shungite, term*

В современном мире полимерные композиционные материалы вносят колоссальный вклад в развитие промышленной отрасли. Они используются в большинстве сфер нашей жизнедеятельности. Полимерные композиционные материалы на основе каучуков являются одними из самых распространённых полимерных композиционных материалов в современной промышленности. Полимерные композиционные материалы на основе неполярных каучуков в современной промышленности очень

востребованные. Их используют в качестве сырья для производства протектора автомобильных шин, для изоляции электрических компонентов и в других производствах [1].

Бутадиен-стирольный каучук является одним из самых распространенных в использовании для композитных материалов каучуком. От всего объема производства синтетических каучуков в год бутадиен-стирольный каучук составляет 44% от всего производства.

В качестве наполнителей композиционных материалов на основе бутадиен-стирольного каучука используют разного вида материалы. Например, крошка красного кирпича и шунгита [2]. В наше время привлекает внимание переработка кирпичных отходов сноса построек. Необходимо повторно использовать данного вида отходы. Таким образом, собранные отходы красного кирпича измельчают и добавляют в бутадиен-стирольный каучук в качестве наполнителя вместо традиционных наполнителей, например, обыкновенная или белая сажа. Экономичная стоимость изделия может быть существенно снижена при использовании кирпичного порошка в качестве наполнителя для резины.

Для наполнения бутадиен-стирольного каучука используют модифицированный кирпичный порошок, так как он обладает лучшим армирующим свойством, чем не модифицированный. При добавлении крошки красного кирпича в бутадиен-стирольный каучук, свойства композиционного материала улучшаются. Предел прочности при растяжении вулканизированного бутадиен-стирольного каучука увеличился с 2,5 МПа до 3,6 МПа с увеличением количества кирпичного порошка, наполненного резиной. Твердость по Шору увеличена с 43 до 53, в то время как объемное сопротивление вулканизированной резины практически не изменилось, оставаясь на уровне 5 кОм·см (табл. 1).

Таблица 1. Свойства бутадиен-стирольного каучука, наполненного крошкой красного кирпича

Название материала	Бутадиен-стирольный каучук	Бутадиен-стирольный каучук, наполненный крошкой красного кирпича
Твердость по Шору	43	53
Предел прочности при растяжении, МПа	2,5	3,6

Таким образом, наполнение бутадиен-стирольных каучуков кирпичной крошкой улучшает физические свойства композиционного материала. Так же решается экономическая и экологическая проблема. Из данного композиционного материала изготавливают автомобильные шины и разного рода резинотехнические изделия.

Еще одним наполнителем для композиционного материала является шунгит и термин. Шунгит – это горная порода, состоящая в основном из углерода и занимающая по составу и свойствам промежуточное положение между антрацитами и графитом. Термин - тонкодисперсный минеральный наполнитель на основе специально подготовленных золоотходов, образующихся при сжигании твердого топлива на ТЭС.

Таблица 2. Свойства бутадиен-стирольного каучука, наполненного шунгитом

Характеристики	10 мас. ч. шунгита	15 мас. ч. шунгита
Вязкость по Муни, усл. ед.	61	62
Относительное удлинение при разрыве, %	490	490
Твердость по Шору, усл. ед.	67	68
Эластичность при: 20 °С	30	30
100 °С	52	52
Истираемость, м ³ /ТДж	62,2	70,1
Сопротивление к раздиру, кН/м	58	59
Пластичность, усл. ед.	0,30	0,29

Увеличение содержания шунгита до 10 мас. ч. повышает вязкость по Муни, относительное удлинение, твердость по Шору, но понижает пластичность, прочность при растяжении, эластичность при н.у. и при температуре 100 °С; практически не изменяет истираемость и сопротивление раздиру. Увеличение содержания шунгита до 15 мас. ч. повышает вязкость по Муни, сопротивление раздиру, твердость по Шору, истираемость и еще больше снижает пластичность резиновых смесей и прочность при растяжении резин (см. табл. 2).

Продукты, изготовленные из композиционных материалов на основе бутадиен-стирольного каучука, имеют улучшенные эксплуатационные свойства. Например, автомобильные шины, изготовленные из композиционных материалов на основе бутадиен-стирольного каучука и разного рода наполнителя, имеют показатели тормозного пути лучше, чем из какого-то другого материала.

Таким образом, использование композиционных материалов на основе бутадиен-стирольного каучука и разного рода наполнителями необходимо, так как это улучшает физико-химические и эксплуатационные свойства продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шашок Ж.С.* Технология переработки эластомеров / Ж.С. Шашок, К.В. Вишневецкий. Минск: БГТУ, 2018. 123 с.
2. *Бобович Б.Б.* переработка отходов производства и потребления: справочное издание / Б.Б. Бобович, В.В. Девяткин: под ред. проф. Б.Б. Бобовича. М.: Интермет Инжиниринг, 2000. 496 с.
3. *Щербина Е.И.* Рециклинг эластомеров / Е.И. Щербина, Р.М. Долинская. Минск, БГТУ. 2011. 7 с.
4. Большой справочник резинщика. В 2 ч. Ч. 1: Каучуки и ингредиенты / И.М. Агаянц [и др.]; под ред. С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозова. М.: Техинформ, 2012. 735 с.
5. Klyuchnikova N.V. Special-purpose polymer composite material based on thermoplastic polymer and modified aerosol / N.V. Klyuchnikova, M.A. Klepikova, L.V. Denisova, D.S. Matveenko // Proceedings of the International Conference Industrial and Civil Construction. 2021. P.182-188.

**ВЛИЯНИЕ ТРАНС-ПОЛИНОРБОРНЕНА
И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ
ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ**

К.А. Коннова, 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 транс-полинорборнена и базальтового волокна на реометрические свойства резины на основе каучуков общего назначения.

***Ключевые слова:** транс-полинорборнен, базальтовое волокно, резиновая смесь, реометрические свойства*

**THE INFLUENCE OF TRANS-POLYNORBORNENE
AND BASALT FIBER ON THE RHEOMETRIC PROPERTIES
OF RUBBER BASED ON CAOUTCHOUCS
OF GENERAL PURPOSE**

K.A. Konnova, E.N. Egorov, N.I. Kol'tsov

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

I.N. Ulyanov Chuvash State University

The influence of trans-polynorbornene and basalt fiber on the rheometric properties of rubber based on general purpose caoutchoucs has been investigated.

***Keywords:** trans-polynorbornene, basalt fiber, rubber mixture, rheometric properties*

Одной из важных проблем железнодорожного рельсового транспорта является понижение вибрации, которая передаётся в окружающую среду в виде механического шума. Для решения этой проблемы используются резиновые прокладки рельсовых креплений. Эти прокладки изготавливаются с использованием функциональных ингредиентов направленного действия, наполнителей, степень

диспергирования которых в матрице каучуков улучшается за счет применения технологических добавок [1, 2]. В качестве таких добавок применяется транс-полинонборнен (ТПНБ) [3-5] и полимерные композиции, содержащие волокнистые наполнители. Одним из таких наполнителей является базальтовое волокно [6]. Представляет интерес исследовать совместное влияние ТПНБ и базальтового волокна на свойства резиновых прокладок. В связи с этим нами исследовано влияние ТПНБ и базальтового волокна на свойства резины на основе каучуков общего назначения, используемой для изготовления прокладок рельсовых креплений.

Резиновая смесь готовилась на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. Для полученной резиновой смеси на реометре MDR 3000 Basic исследовались реометрические характеристики. В дальнейшем резиновую смесь вулканизовали в вулканизационном прессе P-V-100-3RT-2-PCD. Базальтовое волокно представляло собой штапель длиной резки 10-12 мм и диаметром элементарного волокна 9-13 мкм. ТПНБ марки Norsorex APX представлял собой мелкозернистый порошок белого цвета с размером частиц 300-400 мкм и насыпной плотностью 0.35-0.40 г/см³. Для улучшения совместимости ТПНБ с матрицей каучуков была разработана каучукоподобная композиция ТПНБ с технологической добавкой – маслом индустриальным И-12А при массовом соотношении 1:1. Полученную композицию ТПНБ вводили в резиновую смесь, содержание которой во всех исследованных вариантах составляло 50.0 мас. ч. на 100.0 мас. ч. каучуков. В таблице 1 приведены варианты резиновой смеси с различным количеством ТПНБ и базальтового волокна.

Таблица 1. Варианты исследуемой резиновой смеси

Ингредиент	Варианты резиновой смеси					
	1	2	3	4	5	6
Композиция ТПНБ с маслом индустриальным И-12А, мас. ч.	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Базальтовое волокно, мас. ч.	-	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0

На рис. 1. приведены реометрические характеристики резиновой смеси, полученные при 143 °С в течение 40 мин. Как видно, при возрастании в резиновой смеси содержания базальтового волокна происходит увеличение минимального и максимального крутящих моментов, времени начала вулканизации и уменьшении оптимального времени вулканизации.

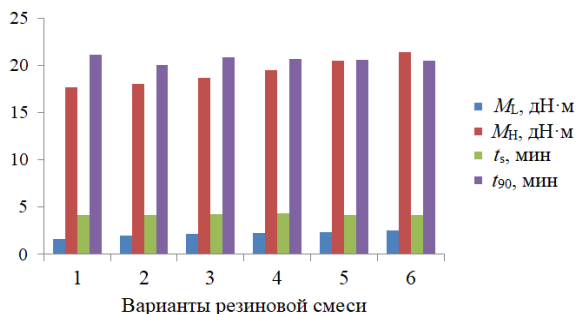


Рис. 1. Реометрические показатели различных вариантов резиновой смеси: M_H – максимальный крутящий момент; M_L – минимальный крутящий момент; t_s – время начала вулканизации; t_{90} – оптимальное время вулканизации

Таким образом, совместное применение базальтового волокна с *транс*-полинонборненом позволяет улучшить реометрические свойства резины, используемой для изготовления прокладок рельсовых креплений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование влияния технологических добавок на свойства резин на основе БНК нового поколения. Часть 1. Вухтазин РВ/г-с / Н.И. Кольцов, Н.Ф. Ушмарин, А.Е. Петров, Н.П. Петрова, Н.Н. Петрова, С.М. Верхунов // *Бутлеровские сообщения*. 2010. Т.19, №2. С.79-86.
2. Исследование влияния технологических добавок на свойства резин на основе БНК нового поколения. Часть 2. Эластид, оксанолы и фактис / Н.И. Кольцов, Н.Ф. Ушмарин, Л.Г. Рогожина, С.А. Исакова, А.В. Яруткина, А.Ю. Плеханова, М.В. Кузьмин // *Бутлеровские сообщения*. 2010. Т.19, №3. С.75-82.
3. Исследование свойств резины для подрельсовых прокладок / Е.Н. Егоров, Н.Ф. Ушмарин, С.И. Сандалов, Н.И. Кольцов // Тез. докл. XXV юбилейной научно-практической конференции «Резиновая промышленность. Сырье. Материалы. Технологии». Москва, 21-25 сентября 2020 г. М.: ООО «Научно-исследовательский центр «НИИШП». 2020. С.142-144.
4. Пат. № 2739188 РФ. Резиновая смесь / Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Сандалов С.И., Кольцов Н.И.
5. Егоров Е.Н. Разработка и исследование резиновой смеси для прокладок рельсовых креплений / Е.Н. Егоров, Н.Ф. Ушмарин, С.И. Сандалов, Н.И. Кольцов // *Рос. хим. журн.* 2021. Т.65, №1. С.56-61.
6. Литус А.А. Шумопоглощающие и звукоизоляционные материалы на основе базальтовых волокон / А.А. Литус, И.Н. Синицына, С.Е. Артеменко, А.А. Землянский // *Пластические массы*. 2008. №1. С.25-27.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИКАРБОНАТА, ВЫБОР И ЕГО ОБОСНОВАНИЕ

**А.Н. Конченкова, В.Б. Бредихина, Ю.В. Ковылова,
Н.В. Ключникова**

Научный руководитель - **Н.В. Ключникова**, канд. техн. наук,
доцент

Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова

В данной статье рассматриваются переработка поликарбоната различными методами. Подбирается и обосновывается оптимальный метод переработки.

***Ключевые слова:** переработка полимеров, поликарбонат, экструзия, методы переработки*

COMPARATIVE ANALYSIS OF POLYCARBONATE PROCESSING METHODS, SELECTION AND JUSTIFICATION

**A.N. Konchenkova, V.B. Bredihina, Y.V. Kovylova,
N.V. Klyuchnikova**

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

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University

This article discusses the processing of polycarbonate by various methods. The optimal method of processing is selected and justified.

***Keywords:** polymer processing, polycarbonate, extrusion, processing methods*

Поликарбонат – это термопластичный полимер, который в последнее время часто применяется в таких областях, как строительство, производство оптических линз, осветительных приборов, различных технологических изделий. Из поликарбоната производят теплицы, навесы, применяемые в сельском хозяйстве. Получается, что изделия из поликарбоната плотно вошли в жизнь современного общества. Также поликарбонат представляет наибольший интерес в настоящее время, так как данный

полимер обладает совокупностью оптимальных свойств: высокая ударопрочность, отличные оптические характеристики, диэлектрические свойства [1]. Именно из-за такого широкого применения возникает проблема переработки изделий из поликарбоната. А как следствие возникает чрезмерное образование отходов. Хотя отходы поликарбоната относятся к классу не очень опасных отходов. Но, тем не менее, при неправильной утилизации возникает угроза нанести экологии непоправимый ущерб.

Так как поликарбонат является термопластичным полимером, это облегчает его переработку. Наиболее распространенными методами переработки поликарбоната являются экструзия, литье под давлением и вакуумформование. Реже применяется каландрование. Выбор того или иного способа определяется свойствами полимерного материала, размерами и конфигурацией изделия, его серийностью, экономическими факторами [2].

Переработка поликарбоната методом литья под давлением заключается в нагреве материала до размягчения, а далее переходе материала в вязкотекучее состояние в нагревательном цилиндре. Далее материал отправляется в литьевую форму. Там материал приобретает заданную форму и затвердевает. Для охлаждения в канале литьевой формы циркулирует прохладная вода. Возможность переработки литьем под давлением большинства известных термопластов, получение изделий разнообразного профиля, высокая производительность этого способа делает его наиболее распространенным [3]. Но данный способ, как и любой другой, имеет свои преимущества и недостатки (табл. 1).

Таблица 1. Сводная таблица преимуществ и недостатков метода переработки литье под давлением

Преимущества	Недостатки
Высокопроизводительность установок	Высокая стоимость литьевых станков различного уровня
Высокое качество изделий	
Возможность использования сложных форм	Применение литья под давлением должно быть экономически обоснованным
Высокая степень автоматизации литья	

Также при переработке поликарбоната используется метод экструзии. Данный метод применяется не только для производства изделий из поликарбоната, но и для смешения термопласта при первичной и вторичной переработке. При экструдировании поликарбоната температура должна возрастать от загрузочного бункера к головке экструдера. Но при этом температура экструзионной головки ниже, чем у зоны, находящейся

рядом – зоны нагнетания [4]. Процесс экструзии проходит по следующей технологии. Для загрузки гранул полимера в бункер экструдера используется пневматический загрузчик. Если же используется несколько компонентов, то используются многокомпонентные дозаторы, которые подают в нужном соотношении смесь в горловину цилиндра экструдера. Затем полимер при помощи шнека перемещается по цилиндру, где расплавляется. Далее полученный расплав полимера выдавливается через формирующую профильную головку. Профиль поступает внутрь калибровочной насадки, где немного охлаждается, а также приобретает заданный размер по диаметру. Для того, чтобы расплав плотно прилегал к стенкам калибровочной насадки, внутрь подается сжатый воздух. Затем готовый профиль охлаждается в ванной, где существует две температурные зоны [5].

Чтобы сделать вывод об оптимальном методе переработки поликарбоната, составим таблицу преимуществ и недостатков (табл. 2).

Таблица 2. Преимущества и недостатки экструзионного метода переработки поликарбоната

Преимущества	Недостатки
Минимальная затратность на производство	Непредсказуемость расширения. Из-за расширения принимают погрешность, а из этого следует, что существует разница в размере.
Экологичность	
Процесс идет в непрерывном режиме	
Возможно дополнительная доработка, так как изделие остается все еще теплым	Ограниченность при изготовлении изделий сложной формы
Экструзия характеризуется высокой скоростью процесса	
Все процессы на производстве автоматизированы	

Каландрирование – это способ переработки размягченной полимерной массы с помощью горизонтально расположенных вращающихся валков. Способ каландрирования является основным в производстве листов и пленок толщиной от 0,1 до 2,0 мм. Каландрованием изготавливают листы из монолитного поликарбоната. Наиболее подходящими материалами для переработки каландрированием являются термопласты: поливинилхлорид, сополимеры винилхлорида и винилацетата, полиэтилен и др. Но поликарбонат не обладает достаточной эластичностью для качественной переработки на каландре.

Таким образом, изучив методы переработки подробнее, а также таблицы преимуществ и недостатков, можно сделать вывод, что для переработки материалов на основе поликарбонатов, наилучшим образом

подходит переработка методом экструзии. Так как процесс является непрерывным, что выгодно с точки зрения экономических соображений, также при экструзии процесс смешения проходит гораздо лучше, как на первичной переработке, так и на вторичной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шварц О.* Переработка пластмасс / О. Шварц, Ф. Эбелинг, Б. Фург. СПб.: Изд-во Профессия, 2005. 320 с.
2. *Шелл Г.* Химия и физика поликарбонатов / пер. с англ. О.В. Смирновой, С.Б. Ерофеевой, под ред. Г.С. Колесникова. М.: Химия, 1967. 232 с.
3. *Бакнелл К.Б.* Ударопрочные пластики. Л.: Химия, 1981. 328 с.
4. *Богданов В.В.* Методы исследования технологических свойств пластмасс. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978.
5. Влияние шунгита на эксплуатационные свойства полимерного композиционного материала / Н.В. Ключникова, И. Генев, А.О. Пискарева, К.А. Урванов, С.А. Гордеев // Вестник Белгородского гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 96-105.

АНАЛИЗ РЫНКА ПОЛИКАРБОНАТА В РФ

**О.В. Копнина, А.И. Мерзликina, А.С. Щербаков,
Н.В. Ключникова**

Научный руководитель - **Н.В. Ключникова**, канд. техн. наук,
доцент

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

Рассмотрены основные виды поликарбоната, их свойства, особенности и сферы применения. Сделан упор на структурный (отовый) поликарбонат, который является наиболее популярным в настоящее время. Приведены статистические данные об отечественном производстве поликарбоната, а также информация о перспективах расширения производства в связи с увеличением спроса.

Ключевые слова: отечественное производство поликарбоната, использование в строительной индустрии, оптические свойства, производственные мощности

ANALYSIS POLYCARBONATE MARKET IN RF

**O.V. Kopnina, A.I. Merzlikina, A.S. Shcherbakov,
N.V. Klyuchnikova**

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

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University

The main types of polycarbonate, their properties, features and applications are considered. Emphasis is placed on structural (cellular) polycarbonate, which is the most popular at present. Statistical data on the domestic production of polycarbonate are provided, as well as information on the prospects for expanding production due to an increase in demand.

Keywords: domestic production of polycarbonate, use in the construction industry, optical properties, production capacity

Всего лишь 30 лет назад стекло было единственным материалом для производства светопрозрачных конструкций. На сегодняшний день это далеко не так, и в строительстве всё чаще используют листы из поликарбоната. Однако данный материал нельзя считать полной заменой

стеклу, а скорее – удачным дополнением для создания качественных и интересных, с точки зрения архитектуры, объектов.

Строительная индустрия использует различные виды поликарбоната:

1. Сотовый (ячеистый) – поликарбонат, состоящий из нескольких листов, соединенных перемычками, которые, в свою очередь, делают листы жесткими с высокими шумо- и теплоизоляционными свойствами.

2. Литой поликарбонат представляет собой сплошные листы, перемычки внутри отсутствуют. Обладает достаточной ударпрочностью. Радиус изгиба меняется от толщины (чем тоньше лист, тем меньше он изогнётся).

3. Профилированный поликарбонат является одной из разновидностей монолитного. Отличается же формой листа: отливается волной или трапециевидным рисунком. Отличаясь небольшой толщиной (от 0,8 до 1,5 мм), выдерживает давление до 320 кг на 1 квадратный метр [1].

На данный момент лидирующую позицию занимает структурный (сотовый) поликарбонат, в связи с обширным рядом его функций и особенностей: повышенная прочность, возможность создания арочных и купольных конструкций, хорошая тепло- и звукоизоляция, привлекательный внешний вид, прозрачность, а также равномерное рассеивание света. Учитывая вышеперечисленные факторы, при рассмотрении рынка поликарбонатных листов, речь, в основном, будет идти именно об осотовом поликарбонате. В сельскохозяйственном комплексе пристальное внимание было направлено на теплицы, которые позволяли выращивать растения в микроклимате, созданном с помощью капельного орошения [2].

Жесткость, ударпрочность, огнестойкость, стабильность размеров, относительная легкость переработки путем экструзии и литьем под давлением, данные физико-механические свойства вывели поликарбонаты на лидирующую позицию в «семействе антивандальных» пластиков.

Анализ рынка поликарбонатов показывает следующие этапы и пути развития. В период с 2009 по 2013 г. Происходил значительный рост производства поликарбоната в Российской Федерации из-за освоения мощностей, построенных на заводе ПАО «Казаньоргсинтез», объёмом 65 тыс. т/год. Таким образом, в 2009 г. В России было произведено 35,7 тыс. тонн поликарбоната при уровне загрузки мощностей на 55%. Однако уже в 2012 г. производственные мощности стали эксплуатироваться на 100,6% и было произведено 65,4 тыс. тонн поликарбоната.

В 2014 г. объем выпуска продукта упал на 8% в сравнении с 2013 г., что связано с кризисной ситуацией в стране. В 2013 и 2015 гг. было выпущено 68,1 и 67,5 тонн поликарбоната выше установленного плана загрузки мощностей соответственно, так как в ПАО «Казаньоргсинтез» было выделено меньшее количество времени на выполнение установленного графика планово-предупредительных ремонтных работ

новых запущенных мощностей. В 2012–2015 гг. выпуск поликарбоната в России держался на уровне, который близок к начальной мощности установки, – 65 тыс. т/год. Производство в 2016 г. Повысилось до 71,0 тыс. т. Увеличение объемов производства привело к тому, что к 2016 г. «Казаньоргсинтез» стал, можно сказать, «домашним» предприятием на рынке поликарбонатов в Российской Федерации, обеспечивающим более 95% внутреннего спроса. А к концу 2017 года завод выпустил 69 тыс. тонн поликарбоната (рис. 1).

Нестабильная ситуация в мировой и отечественной промышленности не стала преградой для продолжения модернизации производства «Казаньоргсинтеза». В 2019-м начался первый этап обновления завода поликарбонатов. Осенью того же года стартовал второй этап. Новое оборудование спровоцировало повышение мощности производства с 70 до 90-100 тыс. тонн в год [3].

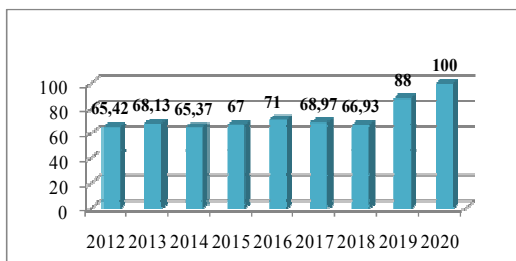


Рис. 1. Объем производства поликарбоната в РФ, тыс. тонн

Показатели экспорта и импорта поликарбоната во многом зависят от нескольких факторов: экономической ситуации в стране, объема производимого поликарбоната, от цен на мировом рынке. Для примера: ценовая разница ограничивает ввоз импортного поликарбоната на российский рынок, но при этом дает возможность экспортировать излишки продукта на внешний рынок. После анализа данных об экспорте и импорте мы можем объединить их в нижеуказанные диаграммы (рис. 2, 3).

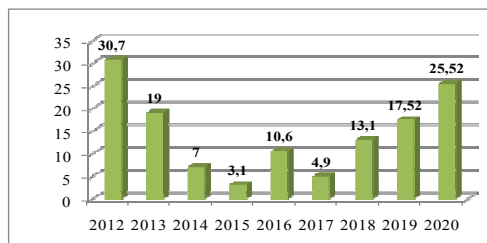


Рис. 2. Объем экспорта поликарбоната в РФ, тыс. тонн

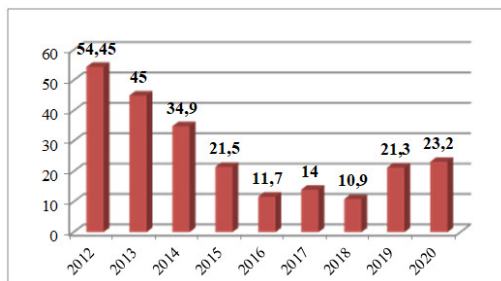


Рис. 3. Объем импорта поликарбоната в РФ, тыс. тонн

В результате анализа рынка поликарбоната в РФ можно сделать вывод о том, что производство поликарбоната является целесообразным направлением экономики. Так как его применение охватывает многие сферы производственной деятельности. ПАО «Казаньоргсинтез» – единственный производитель поликарбоната в Российской Федерации. Однако крупнотонажность предприятия увеличивается с ростом спроса на поликарбонатные изделия. Из него можно строить остановки, теплицы, навесы и многое другое. В связи с этим, появление ещё одного производителя пластика на российском рынке считается вполне возможным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключникова Н.В. Полимерный композиционный материал на основе термопластичного полиимида / Н.В. Ключникова, С.А. Гордеев, М.Д. Гордиенко // Вестник Белгородского гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. 2017. № 12. С. 126-129.
2. Смирнова О.В. Поликарбонаты / О.В. Смирнова, С.Б. Ерофеева. М.: Химия, 1975. 288 с.
3. Рынок сотового поликарбоната в России: тенденции и перспективы // Кровли URL: <https://krovli-russia.ru/rubriki/materialy-i-technologie> (дата обращения: 10.03.2022).

УДК 678.7

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСОРБЦИОННОГО СОПОЛИМЕРА НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДОНАБУХАЮЩЕЙ РЕЗИНЫ

Д.Н. Лушин, К.В. Ефимов, 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 гидросорбционного сополимера акриламида с акрилатом калия на реометрические свойства резиновой смеси на основе каучуков СКН-1855 и CR 2332.

***Ключевые слова:** резина, бутадиен-нитрильный и хлоропреновый каучуки, гидросорбционный сополимер акриламида с акрилатом калия, реометрические свойства*

INFLUENCE OF HYDROSORPTION COPOLYMER ON RHEOMETRIC PROPERTIES OF WATER-SWELLING RUBBER

D.N. Lushin, K.V. Efimov, E.N. Egorov, N.I. Kol'tsov

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

I.N. Ulyanov Chuvash State University

The influence of hydrosorption copolymer of acrylamide with potassium acrylate on rheometric properties of the rubber mixture based on SKN-1855 and SR 2332 caoutchoucs was investigated.

***Keywords:** rubber, nitrile butadiene and chloroprene caoutchoucs, hydrosorption copolymer of acrylamide with potassium acrylate, rheometric properties*

В связи с активным развитием нефтедобывающей отрасли особо актуальным вопросом стала разработка высокоэффективных уплотнительных элементов на основе водонабухающих резин, позволяющих значительно повысить дебит нефти за счет изоляции затрубного пространства скважины [1-3]. В данной работе рассмотрено влияние гидросорбционного сополимера акриламида с акрилатом калия на реометрические свойства резиновой смеси на основе бутадиен-нитрильного СКН-1855 и хлоропренового CR 2332 каучуков. Резиновая смесь, наряду с каучуками,

содержала следующие компоненты: полиизобутилен П-200, термоэластопласт FabFlex 118-60 VI S, тиазол 2МБС (альтакс), дифенилгуанидин (гуанид Ф), цинковые белила, хлорид кальция, магнизию жженую, натрий-карбоксиметилцеллюлозу, технический углерод марки П 514 и другие ингредиенты в определенных количествах. Изготовление резиновой смеси осуществлялось путём смешения ингредиентов на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. Реометрические показатели резиновой смеси исследовали на реометре MDR 3000 Basic при 150 °С в течение 30 мин. На рисунке приведены полученные кривые вулканизации.

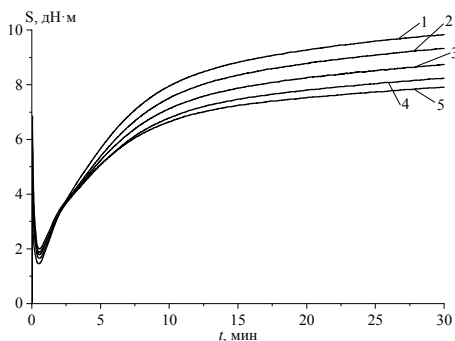


Рис. 1. Зависимости крутящего момента резиновой смеси от времени (номера кривых соответствуют номерам вариантов)

Реометрические показатели, определенные на основе рисунка, приведены в таблице.

Первый вариант резиновой смеси не содержал сополимер акриламида с акрилатом калия. Второй - пятый варианты резиновой смеси содержали от 25 до 100 мас. ч. данного сополимера (табл. 1).

Таблица 1. Варианты и реометрические свойства резиновой смеси

Ингредиенты, показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
Сополимер акриламида с акрилатом калия, мас. ч.	-	25,00	50,00	75,00	100,00
Реометрические показатели резиновой смеси при 150 °С					
S_{\max} , дН·м	9,84	9,33	8,74	8,24	7,91
S_{\min} , дН·м	1,46	1,66	1,79	1,87	2,00
t_s , мин	0,49	0,54	0,57	0,54	0,53
t_{90} , мин	7,41	7,2	6,6	6,21	6,11
<i>Примечание: S_{\max} – максимальный крутящий момент; S_{\min} – минимальный крутящий момент; t_s – время начала вулканизации; t_{90} – оптимальное время вулканизации.</i>					

Как видно, введение сополимера акриламида с акрилатом калия в резиновую смесь приводит к уменьшению максимального крутящего момента и оптимального времени вулканизации. При этом наблюдается возрастание минимального крутящего момента и времени начала вулканизации. Эти данные указывают на улучшение реометрических свойств резиновой смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. An investigation of the effect of methyl cellulose and sodium polyacrylate on the hydrosorption properties of a vulcanisate based on chloroprene rubber / A.V. Ivanova, E.N. Egorov, N.F. Ushmarin, S.I. Sandalov, N.I. Kol'tsov // *International Polymer Science and Technology*. 2018. Vol. 45, No. 7. P. 311-314.
2. Влияние функциональных ингредиентов на физико-механические и эксплуатационные свойства резин для водонабухающих уплотнительных элементов / Е.Н. Егоров, Н.Ф. Ушмарин, К.В. Ефимов, С.И. Сандалов, И.С. Спиридонов, Н.И. Кольцов // *Бутлеровские сообщения*. 2019. Т. 58, № 6. С. 152-157.
3. *Ефимов К.В.* Исследование свойств водонабухающей резины, содержащей камеди и экстэлинт / К.В. Ефимов, Е.Н. Егоров, Н.Ф. Ушмарин, Н.И. Кольцов // *Бутлеровские сообщения*, 2020. Т. 62, №4. С. 72-76.

УДК 658.27:678.664

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ РАСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИУРЕТАНА

**Д.С. Матveenко, И.И. Захлевная, Ю.А. Ковылова,
А.С. Щербаков, Н.В. Ключникова**

Научный руководитель - **Н.В. Ключникова**, канд. техн. наук,
доцент

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

Рассматривается технологическая линия по производству расходных материалов из термопластичного полиуретана и предлагается способ ее оптимизации с целью уменьшения технологических потерь.

***Ключевые слова:** полиуретан, производство полиуретана, расходные материалы из полиуретана, термопластичный полиуретан*

OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGICAL LINE FOR THE PRODUCTION OF CONSUMABLES FROM THERMOPLASTIC POLYURETHANE

**D.S. Matveenko, I.I. Zakhlevnaya, A.N. Konchenkova,
A.S. Shcherbakov, N.V. Klyuchnikova**

Scientific Supervisor - **N.V. Klyuchnikova**, , Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University

A technological line for the production of consumables from thermoplastic polyurethane is considered and a method for its optimization is proposed in order to reduce technological losses.

***Keywords:** polyurethane, polyurethane production, polyurethane consumables, thermoplastic polyurethane*

Животноводству принадлежит важная социально-экономическая функция по обеспечению населения страны продуктами питания, легкой

и перерабатывающей промышленности – качественным сырьём отечественного производства. В то же время, оно зависит от многих других факторов – наличие кормовой базы, наличия безубыточных каналов реализации, потребителей, переработчиков, цен на топливо [1].

На технологической линии производства ушных бирок для сельскохозяйственного животного предприятия «НПФ ВИК» используется метод литья под давлением. Этот метод хорошо подходит для получения небольших изделий из термопластичных полимеров. В научно-производственной фирме в качестве сырья для ушных бирок используют термопластичный полиуретан.

ТПУ обладает рядом преимуществ перед другими полимерами, используемыми в этой области промышленности. ТПУ имеет меньшую плотность, чем поливинилхлорид, но более высокий модуль упругости, чем полипропилен и полиэтилен. Именно из-за оптимальных характеристик, ТПУ был выбран для производства ушных бирок предприятием [2].

Основная часть потребностей российского рынка в производстве полиуретанов удовлетворяется за счёт импорта сырья. Рынок полиуретанов в РФ зависит от поставок изоцианатов. Лишь небольшая доля производства приходится на отечественные компании. Крупнейшая – «Нижнекамскнефтехим», но она производит сырьё только для собственных нужд [3].

Характеристики термопластичный полиуретан:

- материал стойкий к погодным условиям и хорошо держит форму;
- высокая прочность при деформации на изгиб и растяжениях;
- хорошие свойства шумопоглощения и виброгашения;
- возможность окрашивания в любой цвет;
- высокая степень износостойкости.

Производство ушных бирок из ТПУ на предприятии НПФ ВИК осуществляется методом литья под давлением с помощью термопластавтомата. Данный метод основан на способности расплава полимера к значительным и необратимым пластическим деформациям при одновременном действии нагрева и давления. Литьё под давлением включает в себя пластикацию гранулированного материала (термопластичного полиуретана) и его перемещение под высоким давлением и скоростью в формирующую полость литьевой формы, где он затвердевает за счёт охлаждения, чтобы затем можно было извлечь готовое изделие. Этот метод хорошо подходит для производства ушных бирок, так как они являются небольшими деталями простой формы.

Подготовка оборудования к работе заключается в процедуре смены оснастки, очистки и проверки готовности к работе. Процедура смены оснастки производится при переходе на производство бирок другого типа и включает в себя переключивание клише пресс-формы с круглой бирки на полукруглую и наоборот.

Процедура очистки включает в себя текущую и генеральную очистку. Текущая очистка выполняется после окончания производства. Генеральная очистка выполняется при подготовке оборудования к выпуску бирок другого цвета и осуществляется чистящим гранулятом LusinClean, либо его аналогом. Применение данного гранулята позволяет избежать образования пятен на внутренней поверхности шнека и сопла шнека и сократить объём работ по демонтажу для проведения чистки [5].

Суть технологии состоит в следующем: расплав полимера подготавливается и накапливается в материальном цилиндре литьевой машины к дальнейшей подаче в сомкнутую форму. Далее материальный цилиндр смыкается с узлом формы, а пластикатор (невращающийся червяк) осевым движением перемещает расплав в форму. В результате осевого движения червяка форма заполняется расплавом полимерного материала, а пластикатор смещается в крайнее левое положение. Далее расплав в форме застывает с образованием твердого изделия. Материальный цилиндр продолжает оставаться в сомкнутой с системой формы положении. В этой ситуации червяк начинает вращаться, подготавливает и транспортирует расплав в переднюю зону материального цилиндра и при этом отодвигается назад. После накопления требуемого объема расплава вращение червяка прекращается. Он занимает исходное к дальнейшим действиям положение. После завершения процесса затвердевания пластмассы форма размыкается, и изделие удаляется из него. Для облегчения съема изделия материальный цилиндр может к этому моменту отодвинуться от узла формы. Далее цикл литья под давлением повторяется. Конструкция литьевой машины обязательно включает: блок подготовки расплава и его подачи в форму (инжекционный узел); блок запирания (и размыкания) формы в виде прессового устройства с ползуном (узел смыкания); блок привода, обеспечивающего все виды движения подвижных устройств оборудования и оснастки; устройство управления литьевой машины.

Высокое качество пластика обеспечивает эластичность в экстремальных температурах, а также во время действия других вредных факторов. Бирка ушная имеет специальный тип защелки и сделана из специального полимерного материала, не вызывающего нагноения и аллергических реакций, а также не восприимчивого к воздействию окружающей среды.

По внешнему виду бирка напоминает две скрепленные между собой круглые или полукруглые планки. Лицевая планка (сторона) вместе со штырем образует штыревую часть в центре, фиксируется в гнездовой части тыльной планки (стороне). По внешнему виду, форме и размерам, бирка ушная, круглая и полукруглая должна соответствовать требованиям, указанным в СТО 47611900- 0061-2017.

Технологическая линия производства ушных бирок из термополиуретана на предприятие «НПФ ВИК» нуждается в замене термопластавтомата и смесителя, так как ремонт и восстановление изначальных технических характеристик не представляется возможным. Для устранения снижения температуры в рабочих зонах термопластавтомата необходимо использовать модель, способную поддерживать постоянную температуру во время всего технологического цикла.

Термопластавтомат HS-150 позволяет использовать литьё под давлением при постоянной температуре любого значения, при этом не происходит её падения во время полного технологического цикла.

Смеситель FLK-300 обеспечивает равномерное перемешивание сырья для ушных бирок за счёт наличия частотного преобразователя, который регулирует скорость вращения мешалки при разном количестве загруженного сырья. Это позволяет минимизировать технологические потери, приводит к уменьшению бракованной продукции и позволяет производить партии разных объёмов продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Некоторые аспекты усиления полимерных композитов / А.В. Лахно, А.Н. Бобрышев, П.А. Зубарев, В.О. Петренко, Е.В. Новиков // *Международ. техн.-экон. журн.* 2012. №5. С. 100-106.
2. *Изюмов В.М.* Свойства, переработка и применение термопластичных полиуретанов / В.М. Изюмов, В.К. Ананьев, В. Страхов // *Состояние и перспективы развития машиностроения, технологий в производстве, переработке пластмасс и вторичного их использования.* Москва, 5-6 марта, 2003 г.: тез. докл. М.: МАХИМА. 2003. С. 69-70.
3. Влияние шунгита на эксплуатационные свойства полимерного композиционного материала / Н.В. Ключникова, И. Генов, А.О. Пискарева, К.А. Урванов, С.А. Гордеев // *Вестник Белгородского гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова.* 2020. № 2. С. 96-105.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ ФЕНОПЛАСТОВ

Н.А. Набойщикова¹, Е.В. Гусев², Т.А. Агеева¹

Научный руководитель – Т.А. Агеева, канд. хим. наук, доцент

¹ Ивановский государственный химико-технологический университет

² Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

Рассматриваются закономерности изменения физико-механических свойств оптимального состава композита на основе новолачной фенолоформальдегидной смолы и модифицированного органического волоконно-дисперсного наполнителя от параметров термомеханического воздействия.

Ключевые слова: смола, наполнитель, композит, состав, температура, давление, растяжение, изгиб, ударная вязкость, водо- и маслопоглощение

INFLUENCE OF THERMOMECHANICAL EXPOSURE ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF DISPERSIVE-FILLED PHENOPLASTS

N.A. Naboyshchikova¹, E.V. Gusev², T.A. Ageeva¹

Scientific Supervisor - T.A. Ageeva, Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor

¹ Ivanovo State University of Chemical Technology

² V.I. Lenin Ivanovo State Power Engineering University

The regularities of changes in the physico-mechanical properties of the optimal composition of a composite based on novolac phenol-formaldehyde resin and a modified organic fiber-dispersed filler depending on the parameters of thermomechanical action are considered.

Keywords: resin, filler, composite, composition, temperature, pressure, tension, bending, impact strength, water and oil absorption

Основными критериями промышленного применения отвержденного полимерного композита являются физико-механические свойства и закономерности их проявлений [1, 2]. При создании полимерного композиционного материала необходимо установление количественной связи

состава и структуры компонентов с их свойствами и технологического обеспечения производства композита требуемого качества.

Технология получения фенопластового композита с использованием феноло-анилино-формальдегидного полимера (СФ-342) и модифицированных дисперсно-волоконистых отходов целлюлозной фибры включает ряд технологических операций, связанных с подготовкой исходным материалов (сушка, измельчение) и заданного состава их смеси (смешивание с растиранием) и получением пресс-материала (предварительная термическая пластификация смеси, измельчение) и изделия термомеханическим способом (термопрессование).

В ходе экспериментальных исследований при разработке составов установлено, что прочностные свойства исследуемого фенопластового композита понижаются свыше 45% содержания полимерного связующего. Оптимальный состав композита приведен в табл. 1.

Таблица 1. Состав (% , мас.) фенопластового композита

Наполнитель	Полимер СФ-342	MgO	Каолин	Стеарат кальция	Пигмент
40÷50	51÷41	0,9	4,4	1,2	2,5

Оптимальные физико-механические свойства (пределы прочности при растяжении σ_p и поперечном изгибе $\sigma_{из}$, ударная вязкость $a_{из}$, водопоглощаемость ϵ_v и маслопоглощаемость ϵ_m) исследуемого композита в ходе термического прессования прессматериала определяются не только технологическими параметрами (температурой и удельным давлением), но кинетикой внутренних физико-химических процессов и полимеризационного отверждения (временем выдержки на 1 мм толщины изделия) [3].

Закономерности изменения физико-механических свойств фенопластового композита в зависимости от температуры и удельного давления термопрессования при изотермической выдержке 0,8÷1 минута на 1 мм толщины изделия приведены на рис. 1 и 2.

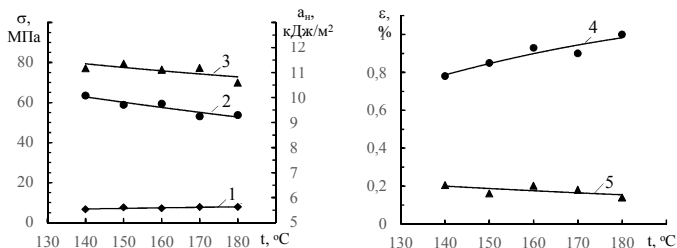


Рис. 1. Закономерности физико-механических свойств композита от температуры термопрессования при давлении 20 МПа:

1 – предел прочности при растяжении; 2 – предел прочности изгибе; 3 – ударная вязкость; 4 – степень водопоглощения; 5 – степень маслопоглощения

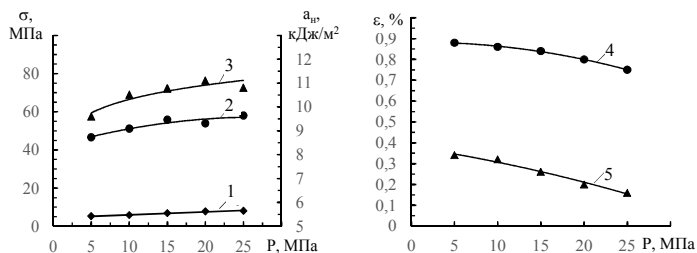


Рис. 2. Закономерности физико-механических свойств композита от давления термопрессования при температуре 170 °С:

1 – предел прочности при растяжении; 2 – предел прочности изгибе; 3 – ударная вязкость; 4 – степень водопоглощения; 5 – степень маслопоглощения

Исследования на физико-механические свойства заданного состава образцов фенопластового композита показали, что наиболее рациональными параметрами горячего формования на гидравлических прессах при изотермической выдержке $0,8 \div 1$ минута на 1 мм толщины изделия являются температура 170-180 °С и удельное давление 20–25 МПа, при которых получены наилучшие результаты: пределы прочности при растяжении $6,5 \div 7,5$ МПа и изгибе $56 \div 58$ МПа, удельная ударная вязкость $10,8 \div 11,2$ кДж/м², степень поглощения по влаге $0,8 \div 0,85\%$, степень поглощения по минеральному маслу $0,15 \div 0,2\%$.

Следует отметить, что при термопрессовании фенопластовых композитов наблюдается хорошая текучесть пресс-материала и однородность окрашивания структуры неорганическими пигментами с получением гладкой блестящей фактуры поверхности.

Полученные данные дают основание предложить возможность применения данного состава фенопластового композита и технологии его изготовления для производства технических изделий машиностроительной отрасли [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кальнесон М.Ю. Пластические массы: свойства и применение: Справочник / М.Ю. Кальнесон, Г.А. Балаев. СПб.: Химия. 1978. 384 с.
2. Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. СПб: Изд-во «Научные основы и технологии». 2013. 752 с.
3. Корохин Р.А. Физико-механические свойства дисперсно-наполненных эпоксидов / Р.А. Корохин, В.И. Солидолов, Ю.А. Горбаткина, А.В. Отегов // Пластические массы. 2013. № 4. С. 37-41.
4. Крыжановский В.К. Технические свойства пластмасс. СПб.: ЦОП: «Профессия», 2014. 240 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ РАЗНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ И ПВХ

И.С. Огарев, В.В. Власов, А.С. Пушница

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

Ярославский государственный технический университет

Проведено исследование влияния комбинаций серийно применяемых в промышленности каучуков с поливинилхлоридом (ПВХ) на физико-механические показатели вулканизатов.

***Ключевые слова:** каучук, резиновая смесь, поливинилхлорид, прочность, совместимость, вулканизация*

STUDY OF THE PROPERTIES OF COMPOSITIONS BASED ON DIFFERENT CHEMICAL NATURE RUBBERS AND PVC

I.S. Ogarev, V.V. Vlasov, A.S. Pushnitsa

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

Yaroslavl State Technical University

The influence of combinations of commercially used rubbers with polyvinyl chloride (PVC) on the physico-mechanical properties of vulcanizates has been studied.

***Keywords:** rubber, rubber compound, polyvinyl chloride, strength, compatibility, vulcanization*

Полимерный композиционный материал – это смесь компонентов со строго заданным назначением каждого. Их дозировка, структура, качество и порядок введения при изготовлении в существенной степени влияет на свойства конечного материала. Также, большую значимость оказывают технологические параметры процессов изготовления полимерных смесей, хранения и их дальнейшей переработки [1, 2].

На основе одного полимерного материала часто не удается достичь уровня свойств, требуемых для определенных условий эксплуатации изделий. В этих случаях используют рецептуры композиций, в которых базовую часть составляет смесь различных исходных полимерных материалов [3]. В частности, для резин - это каучуки. Такой принцип широко применяется, например, в шинной и резинотехнической промышленности. Он позволяет сочетать свойства разных полимеров в одном материале. Например, большую эластичность полиизопрена и более высокую износостойкость полибутадиенового или бутадиен-стирольного каучука, или высокую эластичность полиизопрена и повышенную стойкость к разрушающему действию озона этиленпропиленового или бутилкаучука и т.д.

В ряде случаев резины на основе смесей полимеров, являющихся, как правило, термодинамически несовместимыми друг с другом и образующими микронеоднородные, гетерогенные фазовые структуры в композиционном материале, имеют лучшие прочностные и эластические свойства, а частности, в динамических условиях нагружения [4,5].

Таким образом, исследование влияния состава материала на его свойства вызывает определенный научный интерес.

В работе были исследованы механические свойства вулканизатов на основе комбинации каучуков общего назначения с ПВХ, рецептуры которых представлены в табл. 1.

Таблица 1. Состав полимерных композиций

Компоненты	Шифр смеси					
	Ог1	Ог2	Ог3	Ог4	Ог5	Ог6
СКМС-30АРК	60	-	-	-	-	-
БНКС-28	-	60	-	-	-	-
БНКС-18	-	-	60	-	-	-
БНКС-40	-	-	-	60	-	-
СКИ-3	-	-	-	-	60	-
СКЭПТ	-	-	-	-	-	60
ПВХ	40	40	40	40	40	40
Сера	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Белила цинковые	3	3	3	3	3	3
Альтакс	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Стеарин	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Тиурам	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
ИТОГО	107,45	107,45	107,45	107,45	107,45	107,45

Смеси готовили на лабораторных вальцах 320 160/160 без подогрева. Вначале подвергали вальцеванию каучук, в который затем вводили

ПВХ. Далее вводили стеарин, белила цинковые и вулканизирующую группу. Полученные смеси отлеживались, после чего были вулканизованы в электропрессе при температуре 143 °С в течение 10 минут. Выбор режима вулканизации подбирался исходя из склонности ПВХ к термодеструкции под действием высоких температур.

Определение деформационно-прочностных свойств полимерных материалов при одноосном растяжении проводились в соответствии с ГОСТ 270-75 на разрывной машине ИТС 8223-1,0. В результате испытания с помощью программы «Вектор» получали базу данных, состоящую из значений деформации и соответствующих им значений нагрузки. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2. Физико-механические свойства образцов

Показатели	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6
Относительное удлинение при разрыве ϵ , %	101	274	97	302	244	491
Условная прочность при растяжении, МПа	1,47	4,55	2,67	8,73	2,18	1,1

На основании низких значений физико-механических показателей вулканизатов, было сделано предположение о недостаточной вулканизации материала. В повторном эксперименте вулканизация проводилась на режиме 143 °С / 30 минут. Полученные материалы не имели признаков температурной деструкции и обладали более высокими прочностными характеристиками, представленными в табл. 3.

Таблица 3. Физико-механические свойства образцов

Показатели	Or1	Or2	Or3	Or4	Or5	Or6
Относительное удлинение при разрыве ϵ , %	386	306	274	348	122	104
Условная прочность при растяжении, МПа	4,56	3,50	5,26	3,04	6,67	9,66

Как показали результаты эксперимента, композиты с полимерной комбинацией ПВХ+ БНКС-40 имеют наилучшие физико-механические показатели. Это можно объяснить наиболее высокой совместимостью полимеров из исследованных комбинаций. Также нужно учесть необходимость подбора вулканизирующей группы для каждого материала индивидуально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Производство изделий из полимерных материалов / В.К. Крыжановский [и др.]. СПб.: Профессия, 2008. С. 245-308.
2. *Власов В.В.* Технология модификации эластомерных смесей углеродными наноматериалами / В.В. Власов, М.Е. Соловьев, П.А. Трутнев, И.С. Огарев // Решетневские чтения: материалы XXV Междунар. науч.-практ. конф., посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева. В 2 ч. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова. Красноярск, 2021. С. 632-633.
3. *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 всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов высших учебных заведений с международным участием, 21 апреля 2021г., Ярославль: сб. материалов конф. Ч.1. [Электронный ресурс]. Ярославль. Изд-во ЯГТУ, 2021. С. 211-214. 1 опт. диск.
4. *Туторский И.А.* Химическая модификация эластомеров / И.А. Туторский, Е.Э. Потапов, А.Г. Шварц. М.: Химия, 1993. 303 с.
5. *Уилки Ч.* Поливинилхлорид / Ч. Уилки, Дж. Саммерс, Ч. Даниэлс; пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. СПб.: Профессия, 2007. 728 с.

**ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО АКТИВАТОРА
СЕРНОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ
НА ОСНОВЕ КАУЧУКА СКИ-3**

Т.Е. Смирнова, А.И. Иванов, О.Ю. Соловьева, В.В. Власов

Научный руководитель – **О.Ю. Соловьева**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Исследовано влияние композиционного активатора «Вулкатив С1», содержащего оксид цинка в массовой доле 30 %, в составе серной вулканизирующей группы на свойства резиновой смеси на основе каучука СКИ-3. Показано, что при 100 %-ной замене белил цинковых на композиционный активатор при дозировках этих компонентов 5,0 и 20 мас. ч. вулканизационная активность смесей и степень сшивания резин в технологическом оптимуме вулканизации сохраняются на высоком уровне.

***Ключевые слова:** синтетический изопреновый каучук, белила цинковые, композиционный активатор, резиновая смесь, реометрические и вулканизационные характеристики*

**INFLUENCE OF A COMPOSITE ACTIVATOR OF SULFUR
VULCANIZATION ON THE RHEOMETRIC CHARACTERIS-
TICS OF RUBBER COMPOUNDS BASED ON SKI-3 RUBBER**

T.E. Smirnova, A.I. Ivanov, O.Yu. Solovyeva, V.V. Vlasov

Scientific Supervisor – **O.Yu. Solovyeva**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The effect of the composite activator Vulkativ C1, containing zinc oxide in a mass fraction of 30 %, as part of a sulfur vulcanizing group, on the properties of a rubber compound based on SKI-3 rubber has been studied. It is shown that with a 100 % replacement of zinc oxide with a composite activator at dosages of these components of 5.0 and 20 wt. including the vulcanization activator of compounds and the degree of crosslinking of rubber in the technological optimum of vulcanization remain at a high level.

***Keywords:** synthetic isoprene rubber, zinc dioxide, composite activator, rubber compound, rheometric and vulcanization characteristics*

Известно, что серные вулканизирующие системы, наиболее часто используемые для вулканизации ненасыщенных каучуков, включают несколько компонентов: собственно вулканизирующий агент – серу, ускоритель либо комбинацию ускорителей, первичный и вторичный активаторы вулканизации. В качестве первичного активатора традиционно применяется оксид цинка (технический продукт – белила цинковые), а роль вторичного активатора выполняет синтетическая жирная кислота (СЖК), чаще всего стеариновая или олеиновая [1]. Практически все перечисленные виды сырья относятся к разряду либо достаточно дорогих, либо дефицитных. Кроме того, продукты их превращения, попадая в составе отходов производства и потребления резиновых изделий в окружающую среду, могут оказывать на нее неблагоприятное воздействие. Это, в первую очередь, касается ускорителей и оксида цинка [2, 3]. Поэтому поиск рецептурно-технологических решений, позволяющих повысить эффективность действия серно-ускорительных систем при вулканизации непредельных каучуков, является актуальной задачей в связи с открывающимися возможностями сокращения объемов потребления ряда химикалий, продолжительности вулканизации и, следовательно, экономии как сырьевых, так и энергетических ресурсов, а также повышения экологической безопасности резинового производства.

Примером может служить одно из таких решений, заключающееся в смешении серы с ускорителями и активатором в порошкообразном состоянии, в прогреве полученной композиции при температуре 100-110 °С, охлаждении ее до комнатной температуры с последующим введением в резиновую смесь. В результате сокращается продолжительность вулканизации [4]. Идея предварительно смешения первичного и вторичного активаторов в специально подобранных условиях реализована при получении композиционных активаторов марочного ассортимента «Вулкатив» на предприятии ООО «СОВТЕХ», г. Воронеж, путем сплавления оксида цинка с жирными кислотами и их производными, в том числе синтезированными из сопутствующих продуктов масложирового производства. На протяжении последних лет проводится опробование применения активаторов указанной линейки в рецептурах резиновых смесей, в частности шинного назначения [5, 6], и демонстрирует положительный результат.

С целью расширения спектра резин в рамках этого опробования настоящая работа посвящена изучению закономерностей изменения вулканизационных характеристик резиновых смесей на основе каучука СКИ-3 при замене белил цинковых на один из вариантов продуктов указанного ассортимента - активатор марки «Вулкатив С1» (ТУ 20.59.56-001-31273447-2020). Массовая доля золы в композиционном активаторе составляла 67,6%, массовая доля оксида цинка – 30%. Была проведена пря-

мая замена белил цинковых на «Вулкатив С1» без исключения из рецептуры резиновых смесей стеариновой кислоты.

Для исследования был выбран следующий состав резиновой смеси, мас. ч.: каучук СКИ-3 – 100, 0; сера – 2,0; сульфенамид Ц – 1,0; стеарин – 1,0. Содержание активатора составляло либо 5,0 мас. ч., что соответствует традиционной дозировке белил цинковых в резиновых смесях на основе 1,4-цис-изопренового каучука в тех случаях, когда ZnO выполняет роль первичного активатора вулканизации, либо 20 мас. ч. Повышенная дозировка белил цинковых характерна для резин, от которых требуется высокая теплостойкость и теплопроводность. В этом случае белила цинковые одновременно выполняют роль наполнителя. Для сравнения была изготовлена смесь без первичного активатора.

Смешение компонентов осуществляли на лабораторных вальцах 320 160/160. Режимы во всех случаях были одинаковыми. Смесь с белилами цинковыми была принята за эталон.

Реометрические испытания проводились на виброреометре MDR-2000 в изотермическом режиме при температуре 155 °С. В табл. 1 приведены результаты испытаний.

Согласно полученным данным резиновые смеси, содержащие композиционный активатор в дозировке, равной дозировке белил цинковых, характеризуются более низкими значениями минимального крутящего момента M_L , коррелирующего с вязкостью (см. табл. 1). Этот эффект тем более выражен, чем больше дозировка активаторов. Причина, по всей вероятности, является уменьшение содержания оксида цинка и увеличение доли жирнокислотной составляющей при замене белил цинковых на «Вулкатив С1».

Таблица 1. Влияние замены белил цинковых активатором «Вулкатив С1» на реометрические характеристики резиновых смесей на основе каучука СКИ-3

Показатель	Тип и содержание активатора, мас. ч. на 100 мас. каучука				
	-	Белила цинковые		«Вулкатив С1»	
		5,0	20,0	5,0	20,0
M_L , дН·м	0,56	0,46	0,49	0,44	0,36
$(M_H - M_L)$, дН·м	2,66	6,28	5,19	6,31	7,06
ts_1 , мин	6,67	8,77	8,67	7,95	7,54
t_{90} , мин	7,78	12,13	13,79	10,71	15,15
$(t_{90} - ts_1)$, мин	1,11	3,36	5,12	2,76	7,61
R_h , дН·м/мин	1,75	2,56	1,18	2,87	1,63

Условия испытания: 155 °С, 30 мин, частота колебаний 1,66 Гц, амплитуда деформации 7 % (0,5°).

Характерно, что разность ($M_H - M_L$), которая отражает степень сшивания в технологическом оптимуме вулканизации, практически не изменяется при замене белил цинковых на композиционный активатор при их дозировке 5,0 мас. ч., но заметно увеличивается, если дозировка активаторов составляет 20,0 мас. ч. При увеличении содержания белил цинковых от 5,0 до 20,0 степень сшивания резины уменьшается, судя по характеру изменения значений ($M_H - M_L$), а увеличение дозировки «Вулкати́ва С1» в тех же пределах сопровождается ростом этого показателя.

При замене белил цинковых на «Вулкати́в С1» сокращается индукционный период вулканизации t_{s1} . Причем, он тем короче, чем больше содержание активаторов независимо от их типа. Тип и дозировка активатора оказывает достаточно заметное влияние на время до достижения технологического оптимума вулканизации t_{90} и разность ($t_{90} - t_{s1}$). t_{90} и ($t_{90} - t_{s1}$) увеличиваются с повышением дозировок обоих активаторов, но в случае смеси с «Вулкати́вом С1» это увеличение оказывается более значительным. При содержании активаторов 5,0 мас. ч. эти интервалы времени меньше для смеси с «Вулкати́вом С1», а при более высокой дозировке активирующих добавок, наоборот, для смеси с белилами цинковыми.

Резиновая смесь без первичных активаторов характеризуется более высокой вязкостью, меньшим по продолжительности индукционным периодом, меньшим временем до достижения технологического оптимума вулканизации и низкой степенью сшивания вулканизата.

Что касается максимума скорости изменения крутящего момента в основном периоде вулканизации R_h , соответствующего максимальной скорости сшивания, то с ростом дозировки каждого из активаторов в выбранных пределах его значения резко снижаются и оказываются ниже значений этого показателя, характерных для смеси без активатора. Однако при этом смеси с «Вулкати́вом С1» по величине R_h превосходят смеси с белилами цинковыми при дозировке активаторов как 5,0 мас. ч., так и 20 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

Таким образом, полученные данные указывают на то, что резиновые смеси на основе каучука СКИ-3, содержащие композиционный активатор вулканизации, несмотря на пониженное содержание в нем оксида цинка, проявляют высокую вулканизационную активность, не уступая смесям с белилами цинковыми.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Корнев, А.Е.* Технология эластомерных материалов / А.Е. Корнев, А.М. Буканов, О.Н. Шевердяев. М.: Истек, 2009. 502 с.
2. *Фроликова В.Г.* Источники канцерогенных и токсических веществ в шинной промышленности / В.Г. Фроликова, С.М. Кавун, М.М. Донская // Простор. 2000. № 3. С. 65-74

3. *Гришин Б.С.* Материалы резиновой промышленности : информационно-аналитическая база данных. Ч. 1. Казань: КГТУ, 2010. 505 с.
4. А.с. 765295 СССР; С 08 J 3/22, С 08 I 9/00. Способ получения резиновой смеси на основе карбоцепного каучука / О.А. Хведченя, Г.И. Кострыкина, Н.Д. Захаров, О.Ю. Иванова. Опубл. 23.09.80, Бюл. № 35.
5. *Каюшников С.Н.* Технологические свойства шинных резин с композиционными активаторами / С.Н. Каюшников, Н.Р. Прокопчук // Материалы. Технологии. Инструменты. 2014. Т. 19, № 3. С. 66-70.
6. *Каюшников, С.Н.* Свойства шинных резин с цинкосодержащими технологическими добавками / С.Н. Каюшников, Н.Р. Прокопчук, Е.П. Усс, О.В. Карманова // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79, № 3. С. 126–135. DOI:10.20914/2310-1202-2017-3-126-135.

УДК 678.7

ВЛИЯНИЕ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНЫХ КАУЧУКОВ НА РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ

Т.С. Татарова, 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

INFLUENCE OF STYRENE-BUTADIENE CAOUTCHOUCS ON THE RHEOMETRIC PROPERTIES OF RUBBER

T.C. Tatarova, I.S. Spiridonov, N.I. Kol'tsov

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

I.N. Ulyanov Chuvash State University

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 различных производителей на реометрические свойства резиновой смеси, содержащей бутиловый каучук БК-1675, а также следующие ингредиенты: вулканизирующий агент – сера; ускорители вулканизации – тиазол 2МБС, гуанид Ф; активаторы вулканизации – белила цинковые, стеарин;

антиоксидант - нафтам; наполнители – технический углерод П514, технический углерод П803, мел, спецдобавка ТПНБ; мягчители – канифоль, нефтеполимерная смола СМП-пласт; стабилизатор – фактис; пластификатор – битум в определенных количествах. Резиновая смесь изготавливалась путём смешения ингредиентов на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. В таблице 1 приведены варианты исследованной резиновой смеси, содержащие бутадиен-метилстирольные каучуки разных производителей в количестве 75 мас. ч. и 25 мас.ч бутилкаучука БК-1675.

Таблица 1. Варианты и свойства резиновой смеси

Ингредиенты	Варианты			
	1	2	3	4
СМКС-30 АРК (Россия)	75	-	-	-
Европен HS630 (Италия)	-	75	-	-
Кратон СБС (Германия)	-	-	75	-
Синопек SEBC (Китай)	-	-	-	75
Реометрические показатели резиновой смеси при 150°С				
S_{\max} , дН·м	5,79	5,52	5,20	5,78
S_{\min} , дН·м	1,44	1,26	1,13	1,58
t_s , мин	2,75	2,39	2,23	1,55
t_{90} , мин	21,36	21,09	20,77	16,89
V_{\max} , дН·м/мин	0,01	0,01	0,01	0,02
Примечание: S_{\max} и S_{\min} – максимальный и минимальный крутящие моменты; t_s и t_{90} – времена начала и оптимума вулканизации; v_{\max} – максимальная скорость вулканизации.				

Реометрические показатели резиновой смеси исследовали на реометре MDR 3000 Basic при 150 °С в течение 30 мин. На рис. 1 приведены полученные реометрические кривые.

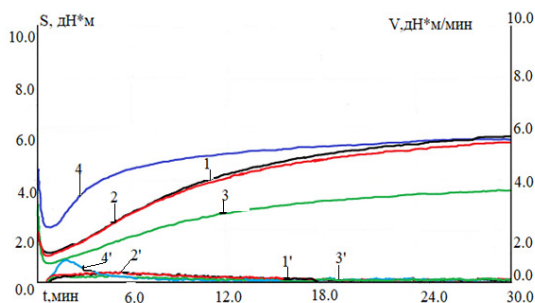


Рис. 1. Реометрические кривые резиновой смеси:

(номера кривых соответствуют номерам вариантов): 1-4 – зависимости крутящего момента от времени; 1'-4' – зависимости скорости вулканизации от времени

Реометрические показатели, определенные на основе рисунка, приведены в таблице. Исходя из данных таблицы, меньшими величинами максимального и минимального крутящих моментов характеризуются второй и третий варианты резиновой смеси, в которых использовались высоковязкие каучуки Европен HS630 и Синопек SEBC. При переходе от первого к четвертому варианту резиновой смеси происходит уменьшение времен начала и оптимума вулканизации. Наилучшими реометрическими свойствами после первого варианта обладает второй вариант резиновой смеси.

Согласно [3], степень химического сшивания резиновой смеси пропорциональна разности максимального и минимального её крутящих моментов. Эта разность достигает наименьшее значение для третьего варианта резиновой смеси содержащий каучук Кратон СБС и наибольшие значения для первого и второго вариантов резиновой смеси, содержащих каучуки СКМС-30 АРК и Европен HS630, 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.
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. технология. 2012. Т. 55, № 9. С. 77-80.

ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕСТКОГО ПЕНОПОЛИУРЕТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОКСИЛИРОВАННОГО ТАЛЛОВОГО МАСЛА

Е.А. Темяшкин, С.Ю. Васильева, Н.И. Кольцов, О.Е. Насакин

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

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Произведено гидроксилирование таллового масла методом эпоксицирования смесью перекисью водорода с муравьиной кислотой последующим раскрытием оксиранового кольца в водной среде. Изучены свойства полученного продукта. Получен жесткий пенополиуретан на основе гидроксилированного таллового масла и изучены его свойства.

Ключевые слова: талловое масло, эпоксицирование, гидроксилирование, свойства, динамическая вязкость, эпоксидное число, гидроксильное число, йодное число, жесткий пенополиуретан, свойства, плотность, прочности при сжатии, водопоглощение, теплопроводность

PRODUCTION OF RIGID POLYURETHANE FOAM USING HYDROXYLATED TALL OIL

E.A. Temyashkin, S. Yu. Vasilyeva, N.I. Koltsov, O.E. Nasakin,

Scientific Supervisor - **N.I. Koltsov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

I.N. Ulyanov Chuvash State University

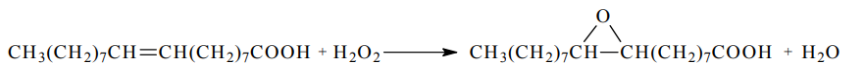
The hydroxylation of tall oil was carried out by the method of epoxidation with a mixture of hydrogen peroxide with formic acid, followed by the opening of the oxirane ring in an aqueous medium. The properties of the resulting product have been studied. Rigid polyurethane foam based on hydroxylated tall oil was obtained and its properties were studied.

Keywords: tallow oil, epoxidation, hydroxylation, properties, dynamic viscosity, epoxy number, hydroxyl number, iodine number, rigid polyurethane foam, properties, density, compressive strength, water absorption, thermal conductivity

Полиуретановые материалы обладают очень широким спектром свойств, что является основной причиной их использования практически

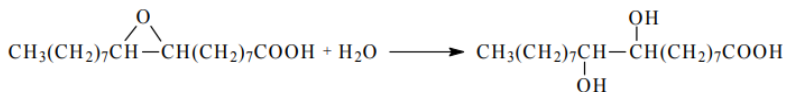
во всех сферах современной жизни. Особое место занимают жесткие пенополиуретаны (ППУ), которые часто используются в качестве утеплителя и шумопоглощающего слоя при строительстве зданий, сооружений. В последние годы в качестве сырья для производства ППУ все чаще предлагают возобновляемые ресурсы, как замена традиционно используемых нефтехимических материалов. Это позволит снизить энергозатраты на получение полиолов из нефтересурсов и выброс углекислого газа в атмосферу. Кроме того, индустрия полиуретанов проявляет все больший интерес к полиолам, полученным из различных типов натуральных масел [1]. Эти природные компоненты могут быть успешно использованы для получения различных видов ППУ, в том числе жестких. Несмотря на то, что натуральные масла являются подходящим сырьем для производства полиолов для полиуретановой промышленности, натуральные масла являются продовольственными культурами и, таким образом, являются сырьем первого поколения. Это означает, что производство этих полиолов конкурирует с производством продуктов питания. Талловое масло (ТМ) может решить эту проблему, так как является отходом производства целлюлозы – переработки лесной биомассы, а не сельскохозяйственным продуктом. ТМ один из коммерчески ценных побочных продуктов процесса производства сульфатной целлюлозы, производится биоперерабатывающими заводами. Объем производства ТМ составляет в России около 200 тысяч тонн [2]. Одним из недостатков таллового масла, является наличие непредельных двойных связей в жирных и смоляных кислотах и отсутствие гидроксильных групп, которые необходимы для реакции с полиизоцинатами при получении ППУ. В связи с вышеуказанным, в данной работе проводятся исследования по гидроксигированию ТМ по методике близкой к публикации [3] и изучению свойств полученного продукта.

Процесс гидроксигирование проводили с хвойным талловым маслом (йодное число – 170 г I₂/100 г, кислотное число 140 г КОН/г и динамическая вязкость при температуре 25 °С – 1680 сП). Вначале проводили эпексидирование таллового масла в присутствии перекиси водорода и муравьиной кислоты. Ход реакции эпексидирования контролировали по изменению концентрации непредельных групп (йодного числа) и концентрации образовавшихся эпексидных групп. В связи с тем, что в жирнокислотном составе таллового масла преимущественно содержится олеиновая кислота (до 28%), то ниже приведена реакция эпексидирования олеиновой кислоты:

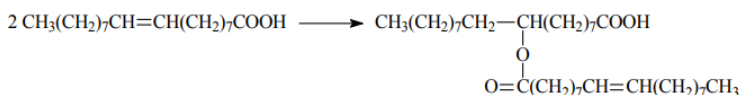
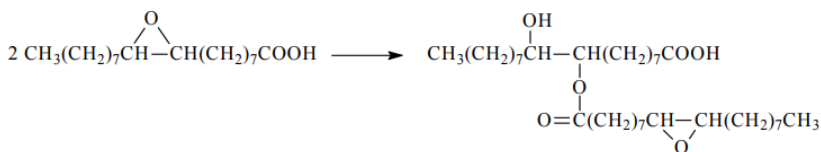


Содержание эпексидных групп составило 9-12%.

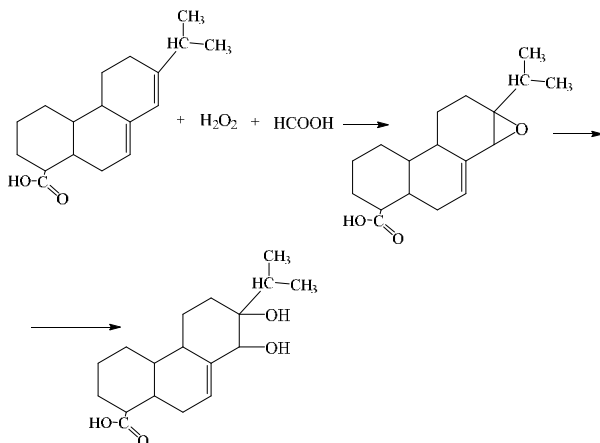
На второй стадии производилось раскрытие окисанового кольца в водной кислой среде.



В ходе проведения данного процесса вязкость продукта повысилась до 5800 сП, йодное число уменьшилось до 16 г I₂/100 г, а кислотное число – до 86 мг КОН/г, что свидетельствует о протекании побочных реакций, вероятные схемы приведены ниже:



Кроме того, вероятно протекает и реакция гидроксирования смоляных кислот (приведена на примере абиетиновой кислоты, содержание которых в ТМ может достигать 33%).



Общее содержание гидроксильных групп в гидроксированном талловом масле в итоге составило 290 мг КОН/г.

Полученное гидроксильное талловое масло (ГТМ) характеризуется высокой вязкостью и поэтому не может самостоятельно приме-

няться в качестве гидроксилсодержащего компонента для синтеза ППУ, но в смеси с другими полиолами или с касторовым маслом – это возможно.

Для изучения практического применения ГТМ для получения ППУ, готовился компонент А, состоящий из ГТМ (50 м. ч.), касторового масла (30 м. ч.), триэтанолamina (20 м. ч.), кремнийорганического пенорегулятора Пента 483 (3 м. ч.) и воды (2 м. ч.). Таким образом, был получен гидроксилсодержащий компонент А. В качестве компонента Б использовали полиизоцианат (ПИЦ) марки Wannate PM-200 на основе дифенилметан-4,4'-диизоцианата с содержанием изоцианатных групп 32%. Компонент Б брали в количестве (130 м. ч.). Для получения ППУ смесь из компонентов А и Б тщательно перемешивали с помощью верхнеприводной мешалки со скоростью 100 об/мин в течение 20 секунд

Полученный ППУ имеет следующие свойства: кажущаяся плотность 65 кг/м^3 , коэффициент теплопроводности – $0,029 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, прочность при 10% деформации сжатия – 2,3 МПа, водопоглощение - 4,2%. Согласно требованиям и стандартам, предъявляемым к жестким ППУ [4], полученный ППУ на основе ГТМ превосходит по прочности ППУ промышленных марок той же плотности, но имеет большее водопоглощение, что вероятно связано с большим содержанием в структуре ППУ открытых пор, что вероятно оптимально скажется на их теплоизолирующих и шумопоглощающих свойствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cherubini F.* The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals // *Energy Conversion and Management*. 2010. V. 51, № 7. P. 1412–1421.
2. *Зандерманн В.* Природные смолы, скипидары, талловое масло (химия и технология) / пер. с нем. Б.Д. Богомолова и Л.А. Селезневой; под ред. Б.Д. Богомолова. Л.: Лесная пром-сть, 1964. 576 с.
3. *Картавец П.А.* Получение эпокси- и дигидроксипроизводных поверхностно-активных веществ на основе подсолнечного масла / П.А. Картавец, П.А. Перегудова, И.Э. Перелыгина, Х.С. Шихалиев // *Вестник Воронежского гос. унта. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2015. №4. С.19-22.
4. *Гравит М.В.* Национальные стандарты для жестких напыляемых PUR и PIR пен / М.В. Гравит, А.С. Кулешин, С.В. Беляева // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 58–64.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ФИЛАМЕНТА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

П.А. Трутнев, В.В. Власов, А.Н. Исаев, А.С. Пушница

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

Ярославский государственный технический университет

Проведено исследование возможности получения филамента для 3D-печати из пластиковых бутылок на основе полиэтилентерефталата

Ключевые слова: полиэтилентерефталат (ПЭТ), экструзия, термообработка, филамент, 3D-печать

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF OBTAINING A FILAMENT FOR 3D PRINTING BASED ON SECONDARY POLYETHYLENE TEREPHTHALATE

P.A. Trutnev, V.V. Vlasov, A.N. Isaev, A.S. Pushnitsa

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

Yaroslavl State Technical University

The possibility of obtaining a filament for 3D printing from plastic bottles based on polyethylene terephthalate has been investigated

Keywords: polyethylene terephthalate (PET), extrusion, heat treatment, filament, 3D-printing

Полиэтилентерефталат (ПЭТ, международное наименование – PET) известен миру и под другими названиями – лавсан, дакрон, майлар или полиэстер. ПЭТ-гара – одна из самых известных в мире: из полиэтилентерефталата делают пластиковые бутылки, флаконы, банки и другие емкости. Он также широко применяется в медицине, машиностроении, в изготовлении одежды. Таким образом, в результате эксплуатации скапливается большое количество отходов, которые могут быть подвергнуты вторичной переработке. Проведенный анализ литературы позволил уста-

новить, что вторичный ПЭТ является весьма ценным сырьем и сохраняет свои свойства при рециклинге [1,2]. Кроме этого, материал позволяет формировать из него нити (филамент) методом экструзии. Это натолкнуло на мысль использования вторичного полиэтилентерефталата в получении востребованного и довольно дорогостоящего продукта – филамента для 3D-печати.

Для получения филамента для последующих работ был собран материал – пластиковые бутылки на основе ПЭТ. Бутылки отмывались от этикеток и содержимого, удалялись крышки и стопорные кольца, после чего они подвергались термообработке в сушильном шкафу.

Обработанные бутылки диспергировались на лабораторной мельнице до однородного состояния, и поступали в экструзионную линию на базе одношнекового экструдера, общий вид которой представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид экструзионной линии

Экспериментально были подобраны оптимальные режимы экструзии материалов, представленных в табл. 1, после чего полученный филамент наматывался на катушки и применялся в 3D-печати.

Таблица 1. Температурный режим экструдера по зонам нагрева

Зона 1	Зона 2	Зона 3	Зона филиеры	Охлаждающая ванна
265 °С	260 °С	250 °С	240 °С	30 °С

Из этого материала на 3D-принтере Artillery Genius [3] были напечатаны образцы тип 1 ISO 527-2:2012 в количестве 10 штук при температуре 265 °С, скорости печати 50 мм/с.

Полученные образцы испытывались на прочность при одноосном растяжении на разрывной машине ИТС 8223-1,0 при скорости движения захвата 10 мм/мин в соответствии с ISO 527-2:2012. Результаты испытаний на одноосное растяжение были подвергнуты статистической обработке. Отклонения значения прочности более чем на 10% от среднего значения не учитывались. Средняя прочность образцов материала составила 41 МПа, что ниже прочностных характеристик коммерческого пластика PETG [4,5].

Таким образом, в результате проделанной работы было установлено на возможность применение вторичного ПЭТ в изготовлении филамента для 3D-печати. Основная проблема материала – высокая склонность к кристаллизации, что делает материал хрупким. На данный момент ведется подбор модификаторов для исследованных полимерных композиций с целью улучшения потребительских свойств и получения технологии и продукта, способного вызвать интерес у специалистов, занимающихся 3D-печатью инженерными пластиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семчиков, Ю.Д. Высокомолекулярные соединения. М.: Академия, 2003. 368 с.
2. Применение вторичного полиэтилентерефталата. URL: <https://polymerbranch.com/a0833c8a1817526ac555f8d67727caf6/446152ec89f3afd4e694b072660660/magazineclause.pdf> (дата обращения 04.03.2022).
3. How does FFF (FDM) 3d printer work? URL: <https://3ddaily.ru/technology/3dprintercomponents-part1.html> (accessed 01.04.2021)
4. Vlasov V.V. Strength characteristics of 3d-printed petg-based products optimization / V.V. Vlasov, P.A. Trutnev // Key Engineering Materials. 2021. Т. 899 KEM. С. 512-517.
5. Власов В.В. Исследование анизотропии свойств тестовых образцов на основе PETG, полученных методом 3D печати / В.В. Власов, П.А. Трутнев // Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения: материалы XVII Междунар. науч.-практ. конф. Нальчик, 2021. С. 46.

**ПРОИЗВОДСТВО РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ
ДЛЯ БЕСШОВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ
ЭТИЛЕН-ПРОПИЛЕН-ДИЕНОВОГО КАУЧУКА**

**А.С. Щербаков, И.И. Захлевная, О.В. Копнина,
Н.В. Ключникова**

Научный руководитель – **Н.В. Ключникова**, канд. техн. наук,
доцент

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

Рассматривается производство резиновой крошки на основе этилен-пропилен-диенового каучука. Осуществляется выбор материала и рецептуры смеси для бесшовных покрытий на основе резиновой крошки.

***Ключевые слова:** резиновая крошка, материалы для бесшовных покрытий, резиновые смеси*

**PRODUCTION OF ELASTIC CHIPS
FOR SEAMLESS COATINGS BASED ON ETHYLENE
PROPYLENE DIENE RUBBER**

**A.S. Shcherbakov, I.I. Zahlevnaya, O.V. Koptina,
N.V. Klyuchnikova**

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

V.G. Shyhov Belgorod State Technological University

The production of crumb rubber based on ethylene-propylene-diene rubber is being considered. The choice of the material and formulation of the mixture for seamless coatings based on rubber crumbs is carried out.

***Keywords:** rubber crumb, materials for seamless coatings, rubber mixtures*

В настоящее время во многих регионах РФ осуществляется приобщение молодого поколения к здоровому и активному образу жизни, прививание любви к спорту. Тем самым, стоит вопрос благоустройства детских игровых, а также спортивных площадок. Одним из самых выгод-

ных решений является использование материалов на основе резиновой крошки, изготавливаемой путем вторичной переработки резиновых изделий (автомобильных покрышек), что существенно решает проблему утилизации, экологии и стоимости производства [1].

Главными преимуществами бесшовных покрытий из резиновой крошки являются:

- 1) высокая износостойкость и устойчивость к истиранию (8-10 лет);
- 2) широкий рабочий температурный диапазон от -50 до 135 °С;
- 3) амортизация удара при падении в процессе игр;
- 4) не крошится, не ломается, не трескается, легко ремонтируется;
- 5) обеспечивает хорошее сцепление поверхности покрытия с обувью.

Этилен-пропилен-диеновый каучук (ЭПДК) – синтетически произведённый каучук, в большинстве случаев сшитый с помощью пероксидной вулканизирующей группы. Цепь полимера включает в себя достаточно малое количество двойных связей (насыщенный неполярный эластомер). Благодаря такой структуре, каучук имеет высокую химическую стойкость. В зависимости от функционального назначения производители выпускают различные виды EPDM-гранулята. Различия могут быть в процентном содержании натурального каучука, размерах и формы гранул, их окраски, плотности и твердости. Обратимся к табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики EPDM-крошки

Характеристика	Значение
Содержание натурального каучука	от 20 до 30 %
Предел прочности на разрыв	2,5-3 МПа
Относительное удлинение на разрыв	400-500%
Упругая деформация	30-40%
Твердость по шкале Шора (А)	50-70 единиц
Относительная плотность	1200-1600 кг/м ³
Насыпная плотность	600-900 кг/м ³ (в зависимости от размера)
Размер фракций	от 0,5 до 6,5 мм

EPDM-крошка может использоваться как при производстве штучных (плиток, бордюров, ковриков) или рулонных покрытий, так и являться самостоятельным материалом для изготовления наливных бесшовных резиновых полов. Возможно производство комбинированных напольных покрытий.

Процесс приготовления образцов осуществляется в несколько стадий. Первая стадия – смешивание каучука с остальными ингредиентами в резиносмесителе при заранее заданной температуре равной 130°С. Важно отметить, что при первичном перемешивании в камеру необходимо вводить весь состав смеси, кроме серы, чтобы не вызвать преждевременную

подвулканизацию материала. Сначала следует добавлять каучук (несколько каучуков). Спустя минуту, когда материал перейдет в вязкотекучее состояние, необходимо ввести 1/3 часть от общего объема наполнителя и пластификатор (индустриальное масло). Далее, по мере гомогенизации смеси, следует порционно вводить оставшийся наполнитель. После необходимо добавить все ингредиенты вулканизирующей группы, среди которых сульфенамид Ц ($C_3H_{16}N_2S_2$), стеариновая кислота ($C_{18}H_{36}O_2$) и оксид цинка (ZnO).

Смесь необходимо перемешивать в резиносмесителе до однородности (3-5 минут). Также на этой стадии можно добавить краситель в смесь. Вводить его следует в последнюю очередь совместно с диоксидом титана в качестве осветлителя, чтобы снизить риск получения цвета не того оттенка или яркости.

Вторая стадия – диспергирование и гомогенизация материала на вальцах. Доработку смеси можно проводить при комнатной температуре, на этом этапе следует вводить серу, в качестве завершающего ингредиента вулканизирующей группы. На вальцах материал достигает необходимой степени гомогенизации, чего невозможно добиться, используя только резиносмеситель. Сшивание макромолекул проходит при 170 °С путем обработки в вулканизирующем прессе.

В работе использованы этилен-пропилен-диеновые каучуки марки «Sabic», которые являются наиболее дешёвыми и удовлетворяющими требованиям к безопасности и технологичности. В качестве высокотехнологичного и недорогого наполнителя был выбран мел ($CaCO_3$). К преимуществам этого наполнителя – относится белый цвет, низкая твердость, широкий интервал возможного размера частиц, стабильность свойств в широком интервале температур.

В ходе работы проводились испытания реологических и технологических свойств [2] этилен-пропилен-диеновых каучуков и их смесей с мелом, бентонитом и шунгитом (в качестве доступной альтернативы), отработывались - технология смешения и рецептура [3]. Сравнение вязкости проводилось для прогнозирования возможности смешения компонентов. Можно сказать, что разница в вязкости каучуков невелика, поэтому проблем при смешении быть не должно. Также изучены графики модулей накопления полимеров.

В результате отработки технологии смешения и рецептуры был предложен ряд стандартных составов, включающих в себя: ЭПДК различных марок; мел/бентонит – 200-300 м. ч. на 100 м. ч. каучука; масло – 50 мас. ч.; сера – 1,5 мас. ч.; оксид цинка – 5 мас. ч.; стеариновая кислота – 1 мас. ч.; сульфенамид Ц – 1 мас. ч.

Были рассмотрены различные способы вулканизации [4], в том числе получение полуфабрикатов методом СВЧ нагрева. Для изучения

способности материала к нагреванию в СВЧ поле, необходимо, чтобы в составе смеси на основе неполярного полимера (ЭПДК) была чувствительная к данному типу нагрева составляющая. Зачастую, для решения этой проблемы используются полярные наполнители (технический углерод, металлсодержащие наполнители), которые не подходят для достижения поставленной цели, как и в случае применения бентонита (материал становится гигроскопичен).

Таким образом, для получения итоговой композиции был выбран минеральный наполнитель, который хорошо подвержен окрашиванию, а именно – мел. В качестве чувствительной к СВЧ нагреву составляющей было предложено использовать полярный полимер, наиболее подходящим вариантом стал бутадиен-нитрильный каучук. Изучено влияние состава и структуры бутадиен-нитрильного каучука на склонность смеси к разогреву в СВЧ поле [5]. Проведена оценка времени достижения заданной температуры, а также максимальной температуры, достигаемой за определенный период времени. При получении смеси на основе двух разнополярных полимеров, возникает проблема степени гомогенизации при смешении. Очевидно, что каучуки с большой разницей в полярности при смешении не будут образовывать однородную смесь. В связи с этим применяется двухэтапная система гомогенизации, включающая в себя как резиносмеситель, так и вальцы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Переработка использованных шин: международный опыт / И.В. Веселов [и др.] // Твердые бытовые отходы. 2012. №12. С. 58
2. Rudolph D., Sujal S., Nikhil A. et al. // Rubber-Toughened Plastics. 2009. Ch. 20. P. 403–413.
3. Влияние шунгита на эксплуатационные свойства полимерного композиционного материала / Н.В. Ключникова, И. Генов, А.О. Пискарева, К.А. Урванов, С.А. Гордеев // Вестник Белгородского гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 96-105
4. *Гофманн В.* Вулканизация и вулканизирующие агенты / пер с нем. Л.: Химия. 1968. 464 с.
5. *Штырбул С.В.* Исследование процесса вулканизации резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильных каучуков токами СВЧ / С.В. Штырбул, Н.Я. Овсянников, М.Ю. Бокша // Биохимическая физика. 2016. С. 189-193.

УДК 678.7

ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОСФЕР НА КИНЕТИКУ ВУЛКАНИЗАЦИИ ВОДОНАБУХАЮЩЕЙ РЕЗИНЫ

О.А. Юдина, К.В. Ефимов, 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 полых полимерных микросфер на кинетику вулканизации водонабухающей резины на основе комбинации бутадиен-нитрильного СКН 1855, полихлоропренового CR 2322 и полиизобутиленового П-200 каучуков.

***Ключевые слова:** каучуки, микросферы, водонабухающая резиновая смесь, реометрические свойства*

THE EFFECT OF POLYMER MICROSPHERES ON VULCANIZATION KINETICS OF WATER-SWELLABLE RUBBER

O.A. Yudina, K.V. Efimov, N.A. Semenova, N.I. Kol'tsov

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

I.N. Ulyanov Chuvash State University

The influence of hollow polymer microspheres on vulcanization kinetics of water-swelling rubber based on a combination of butadiene-nitrile SCN 1855, polychloroprene CR 2322 and polyisobutylene P-200 caoutchoucs.

***Keywords:** rubbers, microspheres, water-swellaable rubber mixture, microspheres, rheometric properties*

Известно, что основная роль в водонабухающих уплотнительных элементах принадлежит резине, свойства которой зависят от природы используемых каучуков и функциональных ингредиентов. Водонабухающие уплотнительные элементы в основном изготавливаются из резин на основе хлоропреновых, бутадиен-нитрильных каучуков с применением различных гидрофильных добавок [1]. Резины являются композиционными материалами, свойства которых во многом определяются используемыми наполнителями. В последнее время в качестве наполните-

лей находят применение полые микросферы [2]. В связи с этим нами исследовано влияние полых полимерных микросфер на кинетику вулканизации водонабухающей резины на основе комбинации бутадиенитрильного СКН 1855, полихлоропренового CR 2322 и полиизобутиленового П-200 каучуков.

Резиновая смесь содержала: вулканизирующий агент – серу; активаторы вулканизации - цинковые белила, магнизию жженную; ускорители вулканизации - гуанид Ф, альтакс; гидросорбционные добавки - полиакриламид-гель водоканальный, натрий-карбоксиметилцеллюлозу и другие ингредиенты в определенных количествах. Резиновая смесь изготавливалась путём смешения ингредиентов на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. В первом (базовом) варианте резиновой смеси наполнителем служил крахмал. Во 2-4 вариантах проводилась равномассовая замена крахмала на микросферы, в количестве 37,5 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучуков (табл. 1).

Таблица 1. Варианты и свойства резиновой смеси

Ингредиенты, показатели	Варианты			
	1	2	3	4
Крахмал, мас. ч.	37,5	-	-	-
Lega Foam 120 MB, мас. ч.	-	37,5	-	-
Expancel 930 MB 120, мас. ч.	-	-	37,5	-
Expancel 920 DOT 40, мас. ч.	-	-	-	37,5
Вулканизационные характеристики резиновой смеси (150°C × 30 мин)				
S_{\max} , ДН·м	3,32	3,55	3,68	5,35
S_{\min} , ДН·м	1,62	1,37	1,52	1,70
t_s , мин	2,48	2,96	2,73	2,84
t_{90} , мин	19,34	22,26	21,14	21,15
V_{\max} , ДН·м/мин	4,31	4,46	4,26	4,14
Примечание: S_{\max} – максимальный крутящий момент; S_{\min} – минимальный крутящий момент; t_s – время начала вулканизации; t_{90} – оптимальное время вулканизации, V_{\max} – максимальная скорость вулканизации.				

Реометрические (вулканизационные) показатели резиновой смеси исследовали на реометре MDR 3000 Basic при 150 °C в течение 30 мин. На рисунке приведены полученные реометрические кривые (рис. 1).

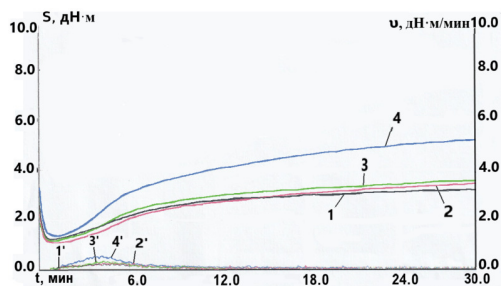


Рис. 1. Вулканизационные кривые резиновой смеси:

(номера кривых соответствуют номерам вариантов): 1-4 – зависимости крутящего момента от времени; 1'-4' – зависимости скорости вулканизации от времени

Реометрические показатели, определенные на основе рисунка, приведены в таблице. Из данных таблицы следует, что использование полимерных микросфер улучшают реометрические свойства резиновой смеси. Причем, введение микросферы марки Expancel 920 DOT 40 в резиновую смесь приводит к наибольшему увеличению её максимального крутящего момента и разности максимального и минимального крутящих моментов. Согласно [3], степень химического сшивания резиновой смеси пропорциональна разности максимального и минимального её крутящих моментов. Следовательно, вулканизаты четвертого варианта резиновой смеси, содержащего Expancel 920 DOT 40, будут обладать более высокими физико-механическими свойствами. Остальные параметры вулканизации при замене крахмала на микросферы изменяются в допустимых пределах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ефимов К.В.* Исследование свойств водонабухающей резины, содержащей камеди и экстэлинт / К.В. Ефимов, Е.Н. Егоров, Н.Ф. Ушмарин, Н.И. Кольцов // *Бултеровские сообщения*. 2020. Т. 62, №4. С. 72-76.
2. *Наполнители для полимерных композиционных материалов* / под ред. Г.С. Каца, Д.В. Микевски, пер. с англ. М.: Химия, 1981. 736 с.
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. технология*. 2012. Т. 55, № 9. С. 77-80.

УДК 667.6

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПИГМЕНТОВ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Г.Б. Ануфриева, Е.А. Индейкин

Научный руководитель – **Е.А. Индейкин**, профессор

Ярославский государственный технический университет

Исследовали применение магнитных пигментов для полимерных порошковых покрытий.

Ключевые слова: магнитные пигменты, методы исследования.

APPLICATION OF MAGNETIC PIGMENTIC FOR POLYMER POWDER COATINGS

G.B. Anufrieva, E.A. Indeikin

Scientific Supervisor – **E.A. Indeikin**, Professor

Yaroslavl State Technical University

The use of magnetic pigments for polymer powder coatings was investigated.

Keywords: magnetic pigments, research methods.

Пигменты – это твердые высокодисперсные неорганические и органические компоненты, входящие в состав жидких или порошкообразных красителей (красок, эмалей, шпатлевок, грунтовок и т.д.) с целью придания покрываемому материалу определенного оттенка цвета, а в комплексе с органическим пленкообразователем – и защитных свойств, таких как газо- и водонепроницаемость, механическая прочность, атмосферостойкость и т.д. Частицы пигмента в пленке способны поглощать, отражать и рассеивать равномерно или избирательно падающий свет, что придает пленке белую, черную или цветную окраску, полностью укрывающую цвет подложки. При этом пигменты оказывают защитное действие на саму пленку, предотвращая ее деструкцию при воздействии солнечных лучей.

В большинстве случаев пигменты являются носителями противокоррозионных свойств. Присутствуя в составе красителя, они оказывают пассивирующее действие на химические процессы, протекающие на по-

верхности окрашенного металла, тем самым предотвращая его коррозию. Для красок и эмалей характерно применять пигменты в количествах 20–50% мас., в грунтовках – до 60% мас., в шпатлевках – до 70% мас.. Зачастую пигменты являются дорогостоящими материалами. Чтобы удешевить производство красителей, частично пигменты заменяются наполнителями, которые не обладают декоративными и защитными свойствами, но при этом в составе красителя улучшают его свойства и покрытий, на которые краситель был нанесен. Наполнители схожи с пигментами и также являются высокодисперсными природными и синтетическими веществами, в основном белыми или слабоокрашенными, отличающимися от пигментов более низким показателем преломления света. Дисперсии пигментов и наполнителей в сухих смесях или в растворах и эмульсиях пленкообразователей, способные образовывать на поверхности окрашиваемого изделия или материала непрозрачный декоративный слой, называются пигментированными лакокрасочными материалами. К ним относят краски, эмали, шпатлевки и грунтовки [1].

В рамках работы «Исследование пигмента железооксидного производства ООО «Ферроколор» и разработка рекомендаций по его применению» проведены исследования его использования в составе материалов на основе алкидных, уралкидных и эпоксидных связующих.

В связи с этим целью работы является исследование пигментных свойств магнитных железооксидных пигментов и установление возможности их использования в порошковых лакокрасочных материалах.

Объектами исследования являются пигменты железооксидные 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 железооксидного пигмента)

Анализ представленных в таблице данных свидетельствует, что отходы Старооскольского металлургического комбината содержат более 50% оксида железа.

В качестве образца сравнения использовался красный железооксидный пигмент (ТУ2322-166-05011907-98).

С помощью различного рода исследований мы изучили ряд свойств полученных образцов. Исследовали противокоррозионные свойства лакокрасочных покрытий импедансометрическим методом. Определили ударную прочность при ударе. Измерили эластичность пленки при изгибе. Также определили твердость покрытий по маятниковому прибору. Результаты исследований были сведены в табл. 1.

Таблица 1. Свойства пигментов

Свойства	Пигменты			
	жжоп	F69-01	F69-02	F66-02
Ударная прочность	33	35	35	40
Эластичность	12	15	16	16
Твердость	37,6	19,9	44,2	52,5

На основании исследований материалов на различных связующих, представленных заказчиков (алкидных, уралкидных, эпоксидных олигомеров), пигментированных изучаемыми оксидами железа с различной предварительной обработкой, показано, что с их использованием могут быть получены покрытия, отличающиеся высокими показателями, что связано с их ферро- или ферритмагнитными свойствами, которые обеспечивают их распределение в покрытии в период открытого времени. С использованием магнитных пигментов могут быть получены покрытия методом импеданса.

Как показали исследования, использование таких пигментов установило что:

- 1) выявились высокие защитные свойства покрытия (методом электрического импеданса);
- 2) повысилась прочность на удар;
- 3) произошло повышение твердости.

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. Standard Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing. 2010.
4. ГОСТ 21119.6-92. Общие методы испытаний пигментов и наполнителей. Определение уплотненного объема, кажущейся плотности после уплотнения и насыпного объема. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999
5. ГОСТ 4765-73. Материалы лакокрасочные. Метод определения прочности при ударе. М.: Изд-во стандартов, 1994.
6. ГОСТ 6806-73. Материалы лакокрасочные. Метод определения эластичности пленки при изгибе. М.: Изд-во стандартов, 1999.
7. ГОСТ 5233-89 (ИСО 1522-73). Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытий по маятниковому прибору. М.: Изд-во стандартов, 1989.

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРГАТОРОВ НА ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ВОДНОДИСПЕРСИОННОЙ ГРУНТОВКИ

А.А. Васялина^{1,2}, А.А. Ильин^{1,2}

Научный руководитель – А.А. Ильин, д-р хим. наук, профессор

¹Ярославский государственный технический университет

²ЗАО «НПК ЯрЛИ», г. Ярославль

Изучено влияние различных диспергаторов на противокоррозионные свойства акрил-стирольной грунтовки. Подобран диспергатор, позволяющий получать покрытия с наилучшими противокоррозионными свойствами.

Ключевые слова: диспергаторы, противокоррозионные свойства, водно-дисперсионная грунтовка, водостойкость, солестойкость

DISPERSANTS INFLUENCE ON ANTI-CORROSION PROPERTIES OF WATER-DISPERSION PRIMER

А.А. Vasyalina^{1,2}, А.А. Ilin^{1,2}

Scientific Supervisor – А.А. Ilin, Doctor of Chemical Sciences,
Professor

¹Yaroslavl State Technical University

²ZAO «NPK YarLi», Yaroslavl

The effect of various dispersants on the anticorrosive properties of acrylic-styrene primers was studied. A dispersant has been selected for to obtain coatings with the best anti-corrosion properties.

Keywords: dispersants, anticorrosive properties, water dispersion primer, water resistance, salt resistance

В последнее время, во всех промышленно развитых странах усиливаются экологические требования к производству и использованию лакокрасочных материалов (ЛКМ) [1]. Особую нишу среди экологически чистых ЛКМ занимают воднодисперсионные эмали и грунтовки, предназначенные для окраски металлических поверхностей [2].

При разработке новых противокоррозионных воднодисперсионных ЛКМ необходимо уделять особое внимание правильному подбору функциональных добавок – диспергаторов пигментов и наполнителей. Диспергаторы могут влиять не только на время диспергирования пигментов и наполнителей в среде связующего до определенного размера частиц, но и на свойства формируемых покрытий, в том числе противокоррозионные.

Цель настоящей работы – изучение влияния различных диспергаторов, используемых при получении воднодисперсионной грунтовки на противокоррозионные свойства формируемых покрытий.

Основой разрабатываемой противокоррозионной грунтовки служила водная акрил-стирольная дисперсия.

В качестве диспергаторов, используемых на стадии диспергирования пигментов и наполнителей акрил-стирольной дисперсии, применялись следующие:

- диспергатор №1, представляющий собой раствор высокомолекулярного блок-сополимера с пигмент-афинными группами. Данный диспергатор обеспечивает дефлокуляцию пигментов посредством стерической стабилизации;

- диспергатор №2, представляющий собой синтетический полимер с пигмент-афинными группами, рекомендуемый для стабилизации органических пигментов и углеродной сажи в водных системах;

- диспергатор №3, представляющий собой соль поликарбоксилевой кислоты;

- диспергатор №4, представляющий собой модифицированный акриловый сополимер в водном растворе.

Один из вышеприведенных диспергаторов вводился в количестве 3% мас. в наполненную пигментами и наполнителями акрил-стирольную дисперсию. Диспергирование пигментов и наполнителей проводилось в течение 2,0-2,5 ч на тупиковой бисерной мельнице ТБМ-1 до степени перетирания частиц ~30 мкм (по клину) [3].

Полученные 4 образца воднодисперсионной грунтовки с различными диспергаторами наносились методом пневмораспыления на пластины из стали марки 08КП в два слоя общей толщиной 60 мкм.

Отверждение каждого слоя проводилось при температуре 80 °С в течение 2 часов. Выдержка образцов перед испытанием составляла 7 суток.

Противокоррозионные свойства сформированных покрытий оценивались двумя методами:

- испытания на стойкость покрытий к воздействию повышенной температуры и влажности воздуха [4];

- испытания стойкости покрытий к воздействию соляного тумана согласно [5].

В таблице 1 приведено время выдержки окрашенных пластин в коррозионно-активной среде, в течение которого не наблюдается никаких дефектов (вспучивания, пузырей, белесоватости и др.).

Установлено, что тип диспергатора влияет на противокоррозионные свойства покрытий. Наибольшую солестойкость (48 ч) демонстрируют образцы покрытий с диспергаторами №№ 2 и 4. В то же время, покрытие с диспергатором №2 имеет максимальную для испытанных образцов водостойкость (288 ч).

Таким образом, для получения воднодисперсионного акрилстирольной грунтовки следует использовать диспергатор №2, представляющий собой синтетический полимер с пигмент-афинными группами.

Таблица 1. Стойкость покрытий с различными диспергаторами при различных испытаниях

Тест-испытание	Время выдержки, ч			
	Покрытие с диспергатором №1	Покрытие с диспергатором №2	Покрытие с диспергатором №3	Покрытие с диспергатором №4
Испытания на стойкость покрытий к воздействию повышенной температуры и влажности воздуха [4]	< 24	288	< 24	264
Испытания стойкости покрытий к воздействию соляного тумана согласно [5]	< 24	48	24	48

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаров В. Рынок водно-дисперсионных ЛКМ в России / В. Гончаров, А. Орехова // Химический журнал. 2002. №9. С.20-25.
2. Кислова Ю. Прогноз развития российского рынка водно-дисперсионных лакокрасочных материалов // Лакокрасочные материалы и их применение. 2017. №3. С.10-16.
3. ГОСТ 6589-74. Материалы лакокрасочные. Метод определения степени перетира прибором «Клин» (гриндометром).
4. DIN EN ISO 6270-2. Краски и лаки – Определение водостойкости. Часть 2: «Конденсация (Испытания в шкафу с емкостью с подогретой водой).
5. ГОСТ 9.401. ЕСЗКС Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов, метод Б (без надреза).

ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРАЗБАВЛЯЕМОЙ КРАСКИ РАЗЛИЧНЫХ ЦВЕТОВ

Ю.А. Воронина, Ю.А. Крылова, А.Е. Терешко

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

Ярославский государственный технический университет

Исследованы пигментные свойства нетоксичных пищевых красителей и пигментов. Показана их возможность для получения водоразбавляемых красок.

Ключевые слова: водоразбавляемые краски, пигменты, пищевые красители, методы исследования пигментов

PRODUCTION OF WATERBORNE PAINT IN VARIOUS COLORS

Y.A. Voronina, Y.A. Krylova, A.E. Tereshko

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

Yaroslavl State Technical University

The pigment properties of non-toxic food dyes and pigments have been studied. Their ability to obtain water-soluble paints is shown.

Keywords: waterborne paints, pigments, food colorings, pigment research methods

В современном производстве лакокрасочной продукции развивается тенденция к замене летучих органических растворителей водой, что объясняется их высокой токсичностью, пожаро- и взрывоопасностью. Лишенные этих недостатков водорастворимые краски представляют собой удобные в эксплуатации составы, которые, к тому же, практически не имеют специфического запаха [1].

Кроме того, актуально направление производства нетоксичных красок на водной основе, которые могут контактировать с кожей человека.

В связи с этим целью работы является получение водоразбавляемой краски различных цветов на основе нетоксичных пигментов и пищевых красителей.

В качестве пигментов при создании краски предлагается использовать цветные пищевые красители в виде формы, нерастворимой в воде:

- 1) краситель синий FD&C Blue No. 1 aluminum lake [2],
- 2) краситель зеленый aluminum lake,
- 3) диоксид титана [3],
- 4) черный оксид железа.

В качестве стабилизаторов и загустителей при составлении краски используются: пропиленгликоль, полиэтиленгликоль с молекулярной массой 400 (ПЭГ 400) и фосгель.

Были изучены технические свойства указанных пигментов: маслоемкость с помощью стеклянной палочки, укрывистость визуальным методом, pH водной вытяжки, содержание водорастворимых солей, средний размер частиц и спектральные характеристики. Результаты исследований сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Свойства красителей и пигментов

Свойства	Пигменты			
	Черный оксид железа	Диоксид титана	Краситель зеленый aluminum lake	Краситель FD&C Blue No. 1 aluminum lake
Маслоемкость, г/100 г	27,69	14,85	14,19	52,44
Укрывистость, г/м ²	92,14	26,47	73,09	17,33
pH водной вытяжки	5,72	6,12	5,19	4,66
Содержание водорастворимых солей, %	0,008	1,1002	0,59	-
Средний размер частиц	2,5	-	0,1	-

В ходе проведенных исследований показано, что изученные пигменты и красители имеют слабокислые значения pH, близкие к значению кислотности кожи, чрезвычайно низкое содержание водорастворимых солей, что позволяет их использовать для разработки водорастворимых красок, нетоксичных для кожи человека. Кроме того, на их основе можно получить краски хорошего качества. В связи с этим нами были получены образцы краски, наполненные данными красителями и пигментами, и исследованы реологические и физико-механические свойства полученных образцов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водоразбавляемые краски. URL: <https://kraska.guru/kraski/vidy/vodorastvorimye.html> (дата обращения: 12.03.2022).
2. Safety Data Sheet (SDS) International (GHS) Revision date: 2019-11-05.
3. Safety Data Sheet according to Regulation (EC) 1907/2006 (REACH) Revision date: 2016-05-02.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПАРЧОВЫХ ТКАНЕЙ КОМБИНИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ

К.В. Ермакова, М.М. Курбонов, А.В. Павлов

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

Ярославский государственный технический университет

Предложен способ извлечения цветных металлов из электропроводных парчовых тканей, предусматривающий растворение цветных металлов последовательно в азотной и серной кислотах, и механическое извлечение тканой основы из раствора перед электроэкстракцией цветных металлов из соответствующих растворов.

***Ключевые слова:** парчовые ткани, цветные металлы, последовательное растворение, электроэкстракция*

EXTRACTION OF NON-FERROUS METALS FROM BROCADE FABRICS BY COMBINED ELECTROLYSIS

K.V. Ermakova, M.M. Kurbonov, A.V. Pavlov

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

Yaroslavl State Technical University

A method for extracting non-ferrous metals from electrically conductive brocade fabrics is proposed, which provides for the dissolution of non-ferrous metals sequentially in nitric and sulfuric acids, and mechanical extraction of the fabric base from the solution before electroextraction of non-ferrous metals from the corresponding solutions.

***Keywords:** brocade fabrics, non-ferrous metals, sequential dissolution, electroextraction*

К парче относятся не только ткани для изготовления изысканных нарядов и декоративных украшений, но и одежда священнослужителей, элементы парадной формы военных, токопроводящая ткань формы спортсменов, занимающихся фехтованием.

Именно спортивная форма фехтовальщиков представляет определенный интерес к переработке, связанной с извлечением цветных метал-

лов из этого вида продукции, как наиболее изнашиваемого и теряющего свои эксплуатационные свойства (рост удельного электрического сопротивления $> 5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$) уже после 1-2 лет.

Ежегодно по данным Федерации фехтования России необходимо поступление, как минимум, новых 800 электропроводящих комплектов для фехтования на саблях и рапирах, что составляет в среднем 16 тысяч квадратных метров электропроводных парчовых тканей. Следовательно, такое же количество парчовых тканей необходимо утилизировать. Учитывая, что 1 м^2 этой ткани содержит 170 граммов цветных металлов и 40 граммов полиамидных нитей, тогда ежегодно возникает потребность в переработке 2720 кг медной сплюсненной проволоки, покрытой 3 мкм серебром, из которой изготовлены мишурные нити ткани.

Утилизация этой ткани напрямую через пункты вторцветмета не предусмотрена, поэтому в настоящей работе предложен способ извлечения цветных металлов (серебра и меди) комбинированным электролизом. Сущность способа заключается в последовательном растворении металлизированной ткани в концентрированных азотной и серной кислотах. При растворении в азотной кислоте в течение 0,5 минуты в раствор переходит серебро, и коагулируются полиамидные нити, затем происходит полное растворение в концентрированной серной кислоте основной медной сетки. Образующийся вязкий кокон из полиамидных нитей извлекается из образовавшегося раствора нитрата серебра. Очищенный раствор нитрата серебра доводится до концентрации в 25 г/л, к которому для повышения электропроводности добавляют 10г/л азотной кислоты. Из полученного состава способом электроэкстракции в лабораторном электролизере с использованием анодов из нержавеющей стали и матричного серебряного катода извлекается при комнатной температуре серебро при анодной плотности тока $80\text{-}100 \text{ А/м}^2$ с выходом по току 94%, напряжение на электролизере во время электролиза менялось от 1,5 до 2 Вольтов.

После полного растворения в концентрированной серной кислоте основной медной сетки (отсутствия осадка) раствор сульфата меди доводят до концентрации 30 г/л и подкисляют серной кислотой (30 г/л) в качестве анодов используют медные пластины, катодом служит матричная медь. В результате электролиза при катодной плотности тока 150 А/м^2 при комнатной температуре образуется медный катодный плотный осадок с выходом по току 96%, напряжение на электролизере практически не менялось и составляло 0,3 В.

СИНТЕЗ ЖЕЛЕЗНОЙ ЛАЗУРИ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н.В. Иванова, Е.А. Индейкин

Научный руководитель – **Е.А. Индейкин**, профессор

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается синтез железной лазури из гексацианоферрата (II) калия и гептагидрата сульфата железа (II), предназначенной для использования в качестве фармацевтического препарата для вывода из организма атомов тяжелых металлов, в том числе радиоактивных нуклидов. Объектами исследования являются железный купорос, калий железистосинеродистый и синтезированная железная лазурь.

Ключевые слова: Железная лазурь, синтез, ионообменные свойства

SYNTHESIS OF PRUSSIAN BLUE FOR THE PHARMACEUTICAL INDUSTRY

N.V. Ivanova, E.A. Indeikin

Scientific Supervisor - **E.A. Indeikin**, Professor

Yaroslavl State Technical University

The article discusses the synthesis of iron blue from potassium hexacyanoferrate (II) and iron(II) sulfate hepta-hydrate, intended for use as a pharmaceutical preparation for removing heavy metal atoms, including radioactive nuclides, from the body. The objects of research are iron vitriol, potassium ferruginous cyanide and synthesized iron azure.

Keywords: Milory, synthesis, ion-changing properties

Железная лазурь, синий неорганический синтетический пигмент состава $Fe_4[Fe(CN)_6]_3 \cdot xMe_4[Fe(CN)_6] \cdot nH_2O$ ($x = 0,3-0,8$; $n = 12-24$; Me – K, реже Na, NH_4). Известна также под названиями милори, берлинская лазурь, парижская синяя, турнбулева синь и др. Вероятно, впервые железная лазурь была получена в Берлине красильным мастером Дисбахом в 1704 [1].

Железная лазурь в воде не растворима, не ядовита, обладает высокой красящей способностью, светостойкостью и атмосферостойкостью. Устойчива к нагреванию до 180 °С [2, 3].

Она используется как антидот (таблетки Ферроцин) при отравлении солями таллия и цезия, для связывания поступающих в желудочно-кишечный тракт радиоактивных нуклидов и тем самым препятствует их всасыванию. Код АТХ V03AB31. Фармакопейный препарат Ферроцин был разрешён Фармкомитетом и Минздравом СССР в 1978 году для применения при остром отравлении человека изотопами цезия [2, 3]. Ферроцин состоит из 5% железо-гексацианоферрата калия $KFe[Fe(CN)_6]$ и 95% железо-гексацианоферрата $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ [2, 3]. Можно предполагать, что она может использоваться для вывода из организма ионов таких металлов, как свинец, стронций, кобальт и др.

В XVIII и XIX вв. в качестве синего пигмента применяли нерастворимую берлинскую лазурь, а иногда и турнбулеву синь. Эти пигменты обладают тусклым цветом, слабой интенсивностью и недостаточной светостойкостью, и поэтому в настоящее время железную лазурь получают исключительно взаимодействием соли закиси железа с железистосинеродистым калием и последующим окислением образующегося белого осадка в кислой среде [4].

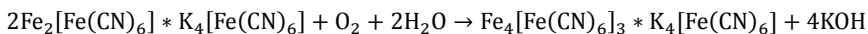
Синтез проводился в соответствии со следующими реакциями

1. Осаждение так называемого «белого теста»



При получении пигментных марок железной лазури окисление «белого теста» проводится с использованием сильных окислителей, например, бертолетовой соли. При получении фармацевтической марки железной лазури целесообразно более медленное окисление кислородом воздуха. При этом получают менее закристаллизованные частицы, обладающей высокой текстурой и развитой поверхностью. Это повышает её адсорбционную способность.

2. Окисление белого теста



По результатам проведённого синтеза выход железной лазури составил 80,59%.

На основании проведённой работы можно сказать о том, что можно избежать длительной варки белого теста. Так как продукт синтеза используется в фармацевтической промышленности, берлинская лазурь может агрегироваться.

Следовательно, лазурь будет ближе к аморфной, а не к кристаллической.

Основной фармацевтической задачей лазури является вывод из организма атомов тяжелых металлов, в том числе радиоактивных нуклидов. Происходит ионный обмен ионов калия на ионы тяжелых металлов.

Была исследована адсорбционная емкость в отношении свинца, стронция и кобальта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Индейкин Е.А.* Железная лазурь // Большая российская энциклопедия. Т. 9. М., 2007. С. 754.
2. *Маяков Е. А.* Мероприятия по снижению перехода радионуклидов из кормов в продукцию животноводства / Е.А. Маяков, В.А. Бударков, А.В. Васильев // Ветеринарная патология. 2002. № 3. С. 103.
3. Радиоэкологические аспекты животноводства (последствия и контрмеры после катастрофы на Чернобыльской АЭС) / Р.Г. Ильязов, Р.М. Алексахин, Н.А. Корнеев, А.Н. Сироткин [и др.]; под общ. ред. Р.Г. Ильязова. Гомель: Полес-печать, 1996. С. 110.
4. *Беленький Е.Ф.* Химия и технология пигментов: учебное пособие / Е.Ф. Беленький, И.В. Рискин. 2-е изд., перераб. и доп. Л.; М.: Гос. науч.-техн. изд-во хим. лит., 1949. С. 624.

УДК 668.6

НОВЫЕ ВИДЫ СЫРЬЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ЖЕЛЕЗОКСИДНЫХ ПИГМЕНТОВ

А.Н. Колосова, А.Е. Терешко

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

Ярославский государственный технический университет

Установлена возможность использования железной руды в качестве сырья для синтеза железоксидных пигментов.

***Ключевые слова:** железная руда, синтез железоксидных пигментов, пигментные свойства, спектры отражения, седиментация*

NEW TYPES OF RAW MATERIAL FOR THE SYNTHESIS OF IRON OXIDE PIGMENTS

A.N. Kolosova, A.E. Tereshko

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

Yaroslavl State Technical University

The possibility of using iron ore oxide, as a raw material for the synthesis of iron oxide pigment has been established.

***Keywords:** iron ore, synthesis pigments, pigment properties, reflection spectra, differential sedimentation*

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

В связи с этим целью данной работы является изучение возможности применения железной руды – отхода Яковлевского горно-обогатительного комбината (ЯГОК), в качестве сырья для синтеза железоксидного пигмента.

Для исследований нам предоставлена руда двух видов с разным содержанием железа: красного цвета (ЖРК) с содержанием железа 75,55% мас. и черного цвета (ЖРЧ) с содержанием железа 48,26% мас.

Проведен ряд синтезов железооксидных пигментов в различных условиях и исследованы пигментные свойства продуктов синтезов.

Красный железооксидный пигмент синтезировался из железной руды путем выдержки его водной суспензии в кислой или щелочной среде при перемешивании. Для регулирования условий синтеза применялись соляная кислота и водный раствор аммиака. Синтез останавливают после прекращения прироста массы продукта.

Для синтеза желтого железооксидного пигмента использовался осадочный способ получения. Окисление осуществлялась путем барботажа воздуха через слой водной суспензии железной руды.

Результаты исследования пигментных свойств полученных продуктов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Пигментные свойства продуктов синтезов

Показатель	Синтез красного пигмента			Синтез желтого пигмента	
	ЖРК, среда – NH ₃	ЖРЧ, среда – HCl	ЖРЧ, среда – NH ₃	ЖРК	ЖКЧ
Средний размер частиц, мкм	1,5	7,5	4,0	1,5	4,6
Наивероятнейший размер частиц, мкм	0,76	3,77	2,0	0,76	2,28
Содержание железа, %	78,2	24,18	59,3	79,6	64,3
Маслоемкость, г/100г	13,53		21,88	15,87	29,18
Укрывистость, г/м ²		32,25	36,06	-	20,81
Содержание водорастворимых солей, %	1,232		0,784	1,488	0,604
pH водной суспензии	8,73		6,75	4,939	6,08
Сопrotивление диспергированию, мин.				-	
Красящая способность, %	23,42	86,88	4,25	18,90	117,99
Цветовые характеристики (координаты цвета в системе CIE L*a*b*)	L* = 29,18 a* = 9,33 b* = 25,69 c = 27,33 ΔE = 11,15	L* = 17,90 a* = 20,95 b* = 28,56 c = 35,41 ΔE = 14,63	L* = 11,38 a* = 9,58 b* = -17,71 c = 20,14 ΔE = 23,72	L* = 25,98 a* = 9,76 b* = 41,92 c = 43,04 ΔE = 21,50	L* = 28,07 a* = 4,37 b* = 16,49 c = 17,06 ΔE = 37,85
Выход продукта, %	9,6	0,94	9,8	0,7	3,3
Время перетирания/синтеза, ч	20	20	20	32	17

Таким образом, нами рассмотрена возможность использования железной руды в качестве сырья для синтеза железооксидных пигментов. В результате проведенных синтезов показано, что использование ЖРК в качестве сырья позволяет получить образцы с удовлетворительными пигментными свойствами. Однако использование в качестве сырья ЖРЧ практически не позволяет получить целевой продукт в результате синтеза (крайне низкий выход). Кроме того, такие продукты не обладают необходимыми пигментными свойствами.

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.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО ОКСИДА ЖЕЛЕЗА В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ЖЕЛЕЗООКСИДНЫХ ПИГМЕНТОВ

Я.В. Кудрявцев, А.Е. Терешко

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

Ярославский государственный технический университет

Проведена оценка возможности использования гранулированного оксида железа – отхода металлургического предприятия, в качестве сырья для синтеза железоксидных пигментов.

***Ключевые слова:** синтез железоксидных пигментов, диспергирование, пигментные свойства, спектры отражения, дифференциальные кривые*

THE USE OF GRANULATED IRON OXIDE AS A RAW MATERIAL FOR THE SYNTHESIS OF IRON OXIDE PIGMENTS

Y.V. Kudryavtsev, A.E. Tereshko

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

Yaroslavl State Technical University

An assessment was made of the possibility of using granular iron oxide, a waste product of a metallurgical enterprise, as a raw material for the synthesis of iron oxide pigments.

***Keywords:** synthesis of iron oxide pigments, dispersion, pigment properties, reflection spectra, differential curves*

Соединения, окраска которых обусловлена наличием в их составе оксида железа (III), издавна применяются в качестве пигментов. Цвет этих пигментов и другие физико-технические показатели обусловлены степенью гидратированности оксида, кристаллической структурой, наличием тех или иных примесей. Невысокая стоимость железоксидных пигментов, их атмосферо- и светостойкость, химическая инертность и неток-

сичность обуславливают в настоящее время их довольно широкое использование, не уступающее по использованию диоксида титана [1].

По химическому составу железоксидные пигменты представляют собой окись железа, гидрат окиси железа или закись-окись железа. Эти соединения в чистом виде или в смеси между собой и в смеси с наполнителями образуют весь комплекс железоксидных пигментов [2].

Железоксидные пигменты в производственных условиях получают окислением металлического железа [2]. Но в связи с дефицитом последнего, актуальным становится поиск альтернативных источников сырья для получения железоксидных пигментов.

В качестве источника сырья для синтеза железоксидных пигментов рассматривается железосодержащий отход металлургического производства - гранулированный оксид железа (ГОЖ), производства ПАО «Северсталь».

В рамках данной работы проведена оценка возможности использования гранулированного оксида железа производства ПАО «Северсталь» в качестве сырья для производства железоксидных пигментов различных цветов: желтого и красного.

С этой целью были проведен ряд синтезов железоксидных пигментов в различных условиях и исследованы пигментные свойства продуктов синтезов.

Красный железоксидный пигмент синтезировали из ГОЖ путем выдержки его водной суспензии в кислой или щелочной среде при перемешивании. Для регулирования условий синтеза применялись соляная кислота и водный раствор аммиака. Кроме того, исследовано применение для синтеза ГОЖ, предварительно обработанного раствором соляной кислоты для активации его поверхности. Синтез останавливают после прекращения прироста массы продукта.

Для синтеза желтого железоксидного пигмента использовался осадочный способ получения. Окисление осуществлялось путем барботаж воздуха через слой водной суспензии ГОЖ.

Результаты исследования пигментных свойств полученных продуктов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Пигментные свойства продуктов синтезов

Показатель	Синтез красного пигмента			Синтез желтого пигмента
	в среде HCl	ГОЖ, предварительно обработанный в растворе HCl в среде HCl	в среде NH ₄	
Средний размер частиц, мкм	3,8	1,7	1,9	3,1
Наивероятнейший размер частиц, мкм	1,91	0,86	0,96	1,56
Содержание железа, %	94,2	94,2	90,0	-
Маслоемкость, г/100г	14,88	8,61	9,24	-
Укрывистость, г/м ²	10,73	4,0	4,11	-
Содержание водорастворимых солей, %	0,976	0,873	0,624	-
pH водной суспензии	6,84	7,35	8,76	-
Сопrotивление диспергированию, мин.	0,50	0,01	0,32	-
Красящая способность, %	25,0	59,47	37,92	259,08
Цветовые характеристики (координаты цвета в системе CIEL*a*b*)	$L^* = 17,04$ $a^* = 24,83$ $b^* = -1,04$ $c = 24,84$ $\Delta E = 29,37$	$L^* = 32,55$ $a^* = 15,13$ $b^* = 1,84$ $c = 15,24$ $\Delta E = 22,64$	$L^* = 32,22$ $a^* = 9,94$ $b^* = -1,29$ $c = 10,02$ $\Delta E = 27,17$	$L^* = 76,76$ $a^* = 4,92$ $b^* = 45,21$ $c = 45,49$ $\Delta E = 47,74$
Выход продукта, %	19,7	3,3	11,2	0,7
Время перетирания/синтеза, ч	20	20	20	32

Таким образом, нами рассмотрена возможность использования отхода металлургического производства в качестве сырья для синтеза железоксидных пигментов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что полученные образцы обладают удовлетворительными пигментными свойствами, но при синтезе желтого пигмента получен крайне низкий выход. Указанные недостатки могут являться задачей для последующих исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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.
4. *Беленький Е.Ф.* Химия и технология пигментов / Е.Ф. Беленький, И.В. Рискин, 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Госхимиздат, 1960. 757 с.

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПИГМЕНТНОЙ ПАСТЫ НА ЕЁ КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

А.Д. Хлопотинин, Е.А. Индейкин

Научный руководитель – **Е.А. Индейкин**, профессор

Ярославский государственный технический университет

Исследовано влияние степени диспергирования пигментной пасты красного периленового пигмента на её качественные показатели.

***Ключевые слова:** пигментная паста, диспергирование, периленовый пигмент, колориметрия*

THE INFLUENCE OF THE DEGREE OF DISPERSION OF PIGMENT PASTE ON ITS QUALITY INDICATORS

A.D. Khlopotinin, E.A. Indeikin

Scientific Supervisor – **E.A. Indeikin**, Professor

Yaroslavl State Technical University

The degree of dispersion of the pigment paste of red perylene pigment influence on its qualitative indicators is investigated.

***Keywords:** pigment paste, dispersion, perylene pigment, colorimetry*

Цветовые характеристики пигментов, такие, как интенсивность, укрывистость и прозрачность, так же как и их блеск, зависят не только от химического строения, но и от таких физических свойств, как кристаллическая структура, форма и размер кристаллов. В диспергированном состоянии качество распределения в среде нанесения и взаимодействие с пленкообразователем и другими компонентами ЛКМ также играют важную роль в определении поведения пигмента при применении.

В связи с этим целью работы является исследование влияния степени диспергирования пигментной пасты на её качественные показатели.

В качестве пигмента используется красный периленовый пигмент. Согласно рецептуре, были изготовлены пигментные пасты красного периленового пигмента с дисперсностью по гриндометру 30, 20, 15, 10 и 5 мкм. По рецептуре в качестве связующего применяли насыщенную полиэфирную смолу. В качестве растворителей использовали бутилацетат и ксилол. Также добавляли диспергирующую добавку.

Были определены качественные показатели пигментной пасты: массовая доля нелетучих веществ, прозрачность визуальным методом, блеск с помощью блескомера, цвет, интенсивность и стойкость к флокуляции (Rub-out-тест). Результаты исследований сведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний пигментных паст

№	Показатель	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 3	Обр. 4	Обр. 5
		Степень дисперсности пигментной пасты				
		30 мкм	20 мкм	15 мкм	10 мкм	≈5 мкм
1	МДНВ пасты, % (160°, 1,5 ч)	56,47	58,29	55,78	53,97	54,79
2	Цвет пигментной пасты (по отношению к образцу пасты №5)	См. табл. 2	См. табл. 2	См. табл. 2	См. табл. 2	Принят за эталон
3	Блеск пигментной пасты	86,9	83,5	85,2	90,4	91
4	Прозрачность пигментной пасты	Существ. мутнее обр.5	На одном уровне с обр. 5	Незначит. мутнее обр.5	Несущественно мутнее обр.5	Принят за эталон
5	Интенсивность пасты в "разбеле" (по отношению к образцу пасты №5)	См. табл. 3	См. табл. 3	См. табл. 3	См. табл. 3	Принят за эталон
6	Интенсивность пасты в смеси с пастой алюминиевого пигмента (по отношению к образцу пасты №5)	См. табл. 4	См. табл. 4	См. табл. 4	См. табл. 4	Принят за эталон
7	Rub-out-тест (различие по цвету)	Визуальная оценка: При переходе от образца №1 к образцу №5 различие по цвету между растёртой и «нерастертой» областями уменьшается				

Таблица 2. Цвет пигментной пасты (по отношению к образцу пасты №5)

№	Показатель	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 3	Обр. 4	Обр. 5
		Степень дисперсности пигментной пасты				
		30 мкм	20 мкм	15 мкм	10 мкм	≈5 мкм
1	ΔL	-0,84	-1,08	-0,05	-0,36	0,0
2	Δa	-1,44	-2,49	0,76	-0,82	0,0
3	Δb	-1,04	-1,35	0,41	-0,57	0,0
4	ΔE	1,96	3,03	0,86	1,07	0,0
5	Δc	-1,69	-2,78	0,85	-0,96	0
6	ΔH	-0,55	-0,51	0,15	-0,29	0

**Таблица 3. Интенсивность пасты в "разбеле"
(по отношению к образцу пасты №5)**

№	Показатель	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 3	Обр. 4	Обр. 5
		Степень дисперсности пигментной пасты				
		30 мкм	20 мкм	15 мкм	10 мкм	≈5 мкм
1	ΔL	-2,54	-2,88	-0,34	-1,37	0,0
2	Δa	1,31	1,62	0,51	0,26	0,0
3	Δb	-0,12	0,82	0,92	0,36	0,0
4	ΔE	2,86	3,41	1,11	1,44	0,0
5	Δc	1,30	1,69	0,60	0,29	0,0

**Таблица 4. Интенсивность пасты в смеси с пастой алюминиевого пигмента
(по отношению к образцу пасты №5)**

№	Образец пасты		Δc	ΔH
1	Обр. 1 (30 мкм)	15°	-2.36	-1.29
		25°	1.10	-0.50
		45°	2.40	-0.21
		75°	2.83	0.23
		110°	1.74	-0.01
2	Обр. 2 (20 мкм)	15°	-4.45	-1.36
		25°	-0.71	-0.63
		45°	1.97	0.10
		75°	2.900	0.42
		110°	1.95	0.18
3	Обр. 3 (15 мкм)	15°	-2.54	-1.79
		25°	0.49	-0.34
		45°	2.45	0.43
		75°	2.78	0.64
		110°	1.55	0.25
4	Обр. 4 (10 мкм)	15°	-4.18	0.17
		25°	-1.38	0.20
		45°	0.49	0.07
		75°	0.81	-0.09
		110°	0.81	0.13

В ходе проведенных исследований было установлено, что при уменьшении показателя по клину от 30 к 5 мкм происходит увеличение интенсивности красного пигмента. Также происходит уменьшение сине-

го оттенка цвета со смещением в желтую область, но при этом переходе от 5 к 30 мкн прозрачность покрытия уменьшается. К тому же при уменьшении размера частиц от 30 к 5 мкн происходит увеличение блеска пигментной пасты(за исключением образца №1).

Таким образом установлено, что при уменьшении показателя по клину приводит к увеличению интенсивности красного пигмента и блеска пигментной пасты. Также происходит уменьшение синего оттенка цвета со смещением в желтую область.

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. 240 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. ГОСТ 6589-74. Метод определения степени перетира прибором «Клин» (гриндометром). М.: ИПК Изд-во стандартов, 1975.

АНАЛИЗ ФИЗИКО–ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АБСОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ И ВТОРИЧНЫХ ГАЗОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

А.А. Ахроров,
докторант

Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье приведены результаты лабораторных исследований физико–химических свойств абсорбентов и составлены уравнения химических реакций взаимодействия очищаемых газов с абсорбентами. Сделаны выводы для выбора оптимального абсорбента с целью эффективной очистки отходящих газов в производстве минеральных удобрений.

Ключевые слова: *техническая сода, абсорбционная жидкость, ротор с фильтрующим покрытием, паронитовое покрытие, азотная кислота, аммиачная селитра*

ANALYSING PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF ABSORBENTS FOR PURIFYING OF EXHAUST AND RAW GASES IN THE MANUFACTURING OF MINERAL FERTILIZERS

A.A. Akhrorov,
Postgraduate Student

Ferghana Polytechnic Institute, Uzbekistan

In the article, the results of laboratory studies of the physicochemical properties of absorbents and the chemical equations for the interaction of the gases for purifying with absorbents. Conclusions were given so that to choose the optimal absorbent for the effective purification of exhaust gases in the production of mineral fertilizers.

Keywords: *technical soda, absorption liquid, rotor with filter coating, paronite coating, nitric acid, ammonium nitrate*

С целью снабжения высокой эффективности очистки отходящих газов в химическом производстве требуется найти оптимальный тип абсорбционной жидкости. В статье рассмотрены и представлены результаты лабораторных исследований для определения основных свойств абсорбентов, влияющих на эффективность очистки и массообменные характеристики аппарата.

Опыты проводились в два этапа. На первом этапе были выбраны абсорбенты для нейтрализации газообразного фтороводорода (2HF). Вещества, использованные в качестве абсорбента, подбирались в соответствии с требованиями ГОСТ 5100-85. Водный раствор технической соды (Na₂CO₃) был выбран с учетом растворимости вторичного газообразного фтористого водорода и ее быстрой адаптируемости к активной среде. Для поглощения газообразного аммиака, выходящего после грануляции жидкого аммиака, и с целью возвращения его в техногоческий процесс, был выбран абсорбционный раствор аммиачной селитры (NH₄NO₃) в азотной кислоте (HNO₃) [1-3].

Проведен лабораторный анализ для определения физико–химических свойств 10-, 20- и 30%-ных водных растворов технической соды (Na₂CO₃) и 15-, 25%-ных растворов азотной кислоты (HNO₃) в аммиачной селитре (NH₄NO₃). pH и температуру приготовленных абсорбентов определяли с помощью pH/ОВП-метра HANNA, динамическую вязкость – с помощью вискозиметра HAAKE 2plus, плотность – с помощью ареометра ALT1840. Значения, полученные в результате измерений, приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Физико–химические свойства водных расворов технической соды

№	Массовая концентрация технической соды в воде, %	pH _{бощ}	μ, мПа·с	ρ, кг/м ³	t, °С
1	10	10,03	1,56	1095	25,3
2	20	10,15	3,5	1200	25,3
3	30	10,20	4,5	1280	25,3

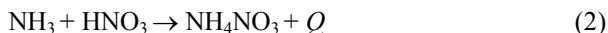
Химически анализировали абсорбцию в растворах абсорбента. По результатам анализа из уравнения (1) видно, что при поглощении фтористого водорода водным раствором технической соды образуются вода, раствор фтористого натрия и углекислый газ.



Таблица 2. Физико–химические свойства расворов аммиакчной селитры в азотной кислоте

№	Массовая концентрация аммиачной селитры в азотной кислоте, %	t, °С	ρ, кг/м ³	μ, мПа·с	D, ·10 ⁻⁹ м ² /с	σ, мН/м
1	15	20	1200	1,035	1,36	87,5
2	25	20	1280	1,725	1,25	

Также разработано и рассчитано уравнение реакции взаимодействия газообразного аммиака с абсорбентом.



Из уравнения (2) видно, что улавливание газообразного аммиака абсорбентом приводило к насыщению аммиачной селитры и выделению тепла.

На втором этапе эксперимента изучан процесс образования пленочного слоя на рабочей поверхности сетчатого фильтрующего материала (паронита) роторно-фильтрующего аппарата.

Выводы

Для очистки и нейтрализации фторводородного газа, испускаемого при производстве суперфосфатных минеральных удобрений, в качестве абсорбента выбран 30%-ный водный раствор технической соды. С целью улавливания аммиака и возвращения его на технологический процесс при производстве аммиачного удобрения в качестве абсорбента выбран 25% закисленный раствор аммиачной селитры.

По анализу физико-химических свойств обоих абсорбентов, при поглощении фторводорода водным раствором технической соды установлено образование фтороида натрия в растворе и выделение углекислого газа с очищенным газом. При поглощении аммиака закисленным раствором аммиачной селитры образовалась насыщенная аммиачная селитра и выделилось тепло в результате реакции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахроров А.А.* Исследование пленочного слоя на рабочей поверхности роторно-фильтрующего аппарата / А.А. Ахроров, Р.Ж. Тожиев, А.С. Исомиддинов // *Universum: технические науки.* 2021. №7(88). С. 42-48.
2. *Ахроров А.А.* Выбор оптимального абсорбента для очистки водородно-фтористого газа в роторно-фильтровальном аппарате и исследование эффективности аппарата / Р.Ж. Тожиев, А.С. Исомиддинов, А.А. Ахроров, А.М. Сулаймонов // *Universum: технические науки.* 2021. №3-4 (84). С. 44-51.
3. *Akhrorov A.A.* Analysis of the dispersed composition of the phosphorite dust and the properties of emission fluoride gases in the production of superphosphate mineral fertilizers / A.A. Akhrorov, R.J. Tojiyev, A.S. Ismodinov // *Universum: химия и биология.* 2021. № 6-2 (84). С. 68-73.

ВЫСУШИВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНДУКТИВНОМ АППАРАТЕ

**А.А. Ахунбаев, Р.Х. Миршарипов, М. Йигиталиев,
Р.Ж. Тожиев**

Научный руководитель – **Р.Ж. Тожиев**, д-р техн. наук, профессор

Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье приведена кинетика сушки дисперсного материала в кондуктивном барабанном аппарате с быстровращающимся ротором. Даны кривая сушки и кривая скорости сушки, полученные экспериментальным путем. На базе общих представлений о сушке и ее законах рассмотрена физическая картина процесса по стадиям, протекающим в сушильной установке, описаны разработанные математические модели и приведено их решение.

Ключевые слова: кинетика сушки, кривая скорости сушки, дисперсный материал, контактная сушка, сушка частица

DRYING OF DISPERSED MATERIALS IN A CONDUCTIVE APPARATUS

A.A. Akhunbayev, R.H. Mirsharipov, M. Yigitaliev, R.J. Tojiev

Scientific Supervisor - **R.J. Tojiev**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Fergana Polytechnic Institute, Uzbekistan

In the article, given the kinetics of drying of dispersed material in a contact drum apparatus with a rapidly rotating rotor. The drying curve and the velocity of drying curve of the obtained experimental data are given. On the basis of general ideas about drying and its laws, the physical picture of the process by stages proceeding in the drying installation is considered, the developed mathematical models are described and their solution is given.

Keywords: drying kinetics, lines of drying kinetics, disperse materials, contact drying device, drying of particles

Для определения скорости сушки в контактном аппарате с быстровращающимся ротором используются опытные кинетические кривые, полученные экспериментальным путём. Пробу влажного материала для

анализа влагосодержания получают через определенные промежутки времени, из пробоотборника, расположенного в середине барабана аппарата. Полученные пробы высушиваются в сушильном шкафу. Для каждой пробы рассчитываем влагосодержание материала. Затем строим зависимость влагосодержания от времени - кривую сушки [1].

С целью упрощения методики определения скорости сушки, и для учета гидродинамических особенностей работы конвективной сушилки, предложено определять влагосодержание материала по параметрам сушильного агента. Проходя через слой высушиваемого материала, сушильный агент увеличивает свое влагосодержание. С помощью уравнения материального баланса по известному влагосодержанию сушильного агента до и после слоя определяют влагосодержание материала. Опытные значения этого метода существенно зависят от быстродействия и точности приборов для измерения параметров сушильного агента [2].

Рассмотрим процесс сушки дисперсного материала в контактном аппарате с горизонтальным быстровращающимся ротором. Аппарат представляет собой неподвижный горизонтальный обогреваемый барабан, внутри которого расположен вращающийся ротор с лопатками; при вращении ротора с лопатками материал отбрасывается к периферии, где образуется движущийся перемешиваемый слой, контактирующий с нагретой стенкой. Сухой материал предварительно взвешен, а потом увлажнен до определенного влагосодержания. Снизу через слой проходит с заданным расходом подогретый воздух при постоянной температуре на входе в слой. Влагосодержание воздуха до и после слоя фиксируется с помощью приборов в определенные промежутки времени.

По известному расходу и влагосодержанию воздуха определяется количество удаленной влаги за первый промежуток времени.

$$W_1 = L_{C.B} (x_{K1} - x_{H1}) \cdot \tau_1, \quad (1)$$

где W_1 - количество удаленной влаги из материала, кг; $L_{C.B}$ - расход сухого воздуха, кг/с; x_H ; x_K - влагосодержание воздуха перед и после сушки, кг/кг; τ_1 - первый промежуток времени, с.

Тогда влагосодержание материала для первого промежутка времени

$$U_1 = \frac{W_L - W_1}{G_{C.M}}, \quad (2)$$

где U_1 - влагосодержание материала в первый промежуток времени, кг/кг с.м; W_L - количество влаги в материале до сушки, кг; $G_{C.M}$ - количество сухого материала, кг.

Влагосодержание материала в последующие промежутки времени рассчитывается по формуле

$$U_1 = \frac{W_L - \sum_{n=1}^i W_i}{G_{с.м}}, \quad (3)$$

где $\sum_{n=1}^i W_i$ – суммарное количество удаленной влаги, кг.

По результатам опытов и расчетов строится кривая сушки, то есть графическая зависимость влагосодержания материала от времени сушки.

Для получения скорости сушки материала в любой точке кривой сушки проводится касательная, тангенс угла наклона которой равен скорости сушки.

На рис. 1 изображена опытная кривая сушки при скорости воздуха 0.42 м/с.

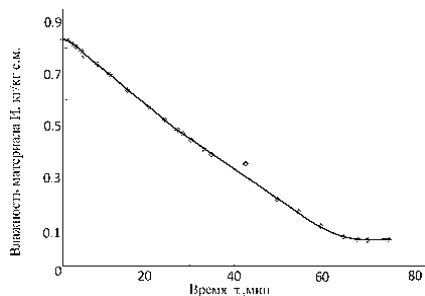


Рис. 1. Кривая сушки

Анализ исследований по тепло- и массообменным процессам, протекающим при сушке в роторных сушилках, показывает, что на основании существующих исследований процесса сушки невозможно учесть все характерные особенности и изменения в кинетике такого процесса. Более полной была бы такая модель, которая учитывала бы изменение температуры материала в каждой из стадий сушки, равновесие между влажным материалом, дополнительный подвод тепла от диссипации энергии за счёт быстрого движения дисперсного материала и нагретых конструктивных элементов барабана, а также эффект продольного перемешивания дисперсного материала.

Нами на базе общих представлений о сушке и ее законах рассмотрена физическая картина процесса по стадиям, протекающим в сушильной установке, описаны разработанные математические модели и приведено их решение. В основу разработки математической модели взяты известные законы сохранения энергии и массы вещества, положения из теории сушки и законы равновесия между материалом и сушильным агентом. Рассмотрим характерные составляющие процессов, протекаю-

щих при сушке. Период удаления свободной влаги характерен тем, что испарение идет по законам превращения свободной жидкости в пар. В течение этого периода процесс сушки определяется, главным образом, скоростью подвода тепла от нагретой стенки к высушиваемому материалу. Путем графического дифференцирования опытной кривой сушки получена кривая скорости сушки, которая представлена на рис. 2.

Одним из важнейших параметров, определяющих режим сушки, является температура стенки. В непрерывном процессе сушки температура стенки по длине сушилки изменяется за счет отдачи тепла на испарение жидкости, на нагрев материала и лопастей ротора.

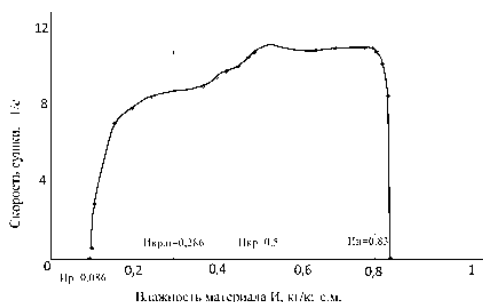


Рис. 2. Кривая скорости сушки

Расчет периода удаления связанной влаги отличается от расчета периода удаления свободной влаги тем, что температура поверхности материала повышается, необходимо рассчитывать с использованием измененной зависимости между стенкой и высушиваемым материалом. В результате теплового контакта материала с горячими стенками и лопастями ротора появляется слой высушенного материала, толщина которого постепенно растет. А в высушенном состоянии дисперсный материал по теплопроводным свойствам не так уж далек от свойств теплоизоляционных материалов. С этим связано то, что основное сопротивление теплопередаче сосредоточено в зоне материала, контактирующего с теплоотдающей поверхностью. Проходящие в этой зоне процессы существенно зависят от критерия Лыкова. Температура этого слоя на поверхности контакта одинакова с температурой нагретой стенки, а на противоположенной стороне равна температуре испарения жидкости, определяемой величиной давления в сушильном барабане.

Опытным путем, используя параметры сушильного агента, получены кривые скорости сушки. Эти кривые позволяют определять скорость сушки в любое время проведения процесса. Зависимость скорости сушки в первом периоде от скорости сушильного агента показывает, что с уве-

личением скорости прохождения сушильного агента через слой высушиваемого дисперсного материала за счет конвекции ускоряется процесс сушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Марков В.А.* Процессы и аппараты химической технологии. Лабораторный практикум: учебное пособие для студентов высших учебных заведений по химико-технологическим специальностям / В.А. Марков, С.К. Протасов, А.А. Боровик. Минск: БГТУ, 2011. 206 с.
2. *Фролов В.Ф.* Моделирование сушки дисперсных материалов. Л.: Химия, 1987. 208 с.
3. *Mirsharipov R.H.* Research of Hydrodynamic Parameters of Drum Dryer / R.H. Mirsharipov, A.A. Akhunbaev // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2020. 7(11). 15683-15689.
4. Анализ процесса сушки минеральных удобрений в барабанном аппарате / Р.Ж. Тожиев, А.А. Ахунбаев, Р.Х. Миршарипов, М.М.К. Муллажонов, М.М.У. Йигиталиев // Universum: технические науки. 2021. № 8-1(89). С. 31-36.
5. *Тожиев Р.Д.* Исследование гидродинамических процессов при сушке минеральных удобрений в барабанных сушилках / Р.Д. Тожиев, А.А. Ахунбаев, Р.Х. Миршарипов // Научно-технический журнал. 2021. 4(4). С. 10-16.
6. *Tojiyev R.J.* Research of hydrodynamic processes when drying mineral fertilizers in drum dryers / R.J. Tojiyev, A.A. Akhunbaev, R.X. Mirsharipov // Scientific-technical journal. 2021. 4(4). С. 10-16.
7. Optimized dryer design based on system process analysis / R. Tojiyev, R. Mirsharipov, A. Akhunbaev, N. Abdusalomova // Universum: технические науки: научный журнал. 2020. № 2 11(80).
8. *Mirsharipov R.* Analysis of drying building materials in a drum dryer // Scientific progress. 2021. №2(8). P.145-152.
9. Ахунбоев А.А. Барабанли аппаратда дисперс материални куритиш жараёни статикаси / А.А. Ахунбоев, М.Р. Хабибуллаевич // Фаргона политехника институти Илмий-техника журнали. 2020. №5(1). С. 268-272.
10. *Khabibullaevich M.R.* Drying Building Materials in a Drum Dryer // Journal of Marketing and Emerging Economics, 2021. №1(6). P. 93-97.
11. Оптимизация конструкции сушильного барабана на основе системного анализа процесса / Р.Ж. Тожиев, Р.Х. Миршарипов, А.А. Ахунбаев, Н.А.К. Абдусаломова // Universum: технические науки. 2020. №11-1 (80).

**ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ВЫДЕЛЕНИЯ
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
ВЕЩЕСТВ ИЗ ВЕРБЕЙНИКА ОБЫКНОВЕННОГО
И ИХ ПРОТИВОМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ**

А.Х. Бахтиярова, В.В. Ларина, А.Д. Попов, О.О. Бабич

Научный руководитель – **О.О. Бабич**, д-р техн. наук

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

*Были подобраны параметры экстракции биологически активных веществ из вербейника обыкновенного (*Lysimachia vulgaris*) и их выделения в индивидуальном виде. Удалось выделить гиперозид (с примесью рутина), кверцетин-3D-глюкозид и астрагалин. Показаны антимикробные свойства полученных образцов против синегнойной палочки *Pseudomonas aeruginosa*. Кверцетин-3D-глюкозид и астрагалин так же показали активность против сенной палочки *Bacillus subtilis*.*

Ключевые слова: биологически активные вещества, вербейник обыкновенный, гиперозид, кверцетин-3D-глюкозид, астрагалин, противомикробная активность

**SELECTION OF PARAMETERS FOR THE RECOVERY
OF INDIVIDUAL BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES
FROM LYSIMACHIA VULGARIS
AND THEIR ANTIMICROBIAL ACTIVITY**

A.Kh. Bakhtiarova, V.V. Larina, A.D. Popov, O.O. Babich

Scientific Supervisor – **O.O. Babich**, Doctor of Technical Sciences,

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

*The parameters for the extraction of biologically active substances from the common loosestrife (*Lysimachia vulgaris*) and their individual isolation were selected. It was possible to isolate hyperoside (with an admixture of rutin), quercetin-3D-glucoside and astragaline. The antimicrobial properties of the obtained samples against *Pseudomonas aeruginosa* are shown. Quercetin-3D-glucoside and astragaline have also been shown to be active against *Bacillus subtilis*.*

Keywords: biologically active substances, loosestrife, hyperoside, quercetin-3D-glucoside, astragaline, antimicrobial activity

Вербейник обыкновенный широко используется в народной медицине: измельчённой сухое сырьё обладает кровоостанавливающим и ранаозаживляющим действием и рекомендуется при различных порезах, ожогах и ссадинах. Отвары наземных частей растения обладают антисептическим эффектом [1] и противомикробными свойствами [2].

Целью данного научного исследования является подбор параметров получения индивидуальных биологически активных веществ из вербейника обыкновенного (*Lysimachia vulgaris*), произрастающего на территории Калининградской области, а также исследование полученных образцов на микробиологическую активность против грамположительных (сенная палочка *Bacillus subtilis*) и грамотрицательных бактерий (кишечная палочка *Escherichia Coli*, синегнойная палочка *Pseudomonas aeruginosa*).

С целью анализа содержания вторичных метаболитов фенольной природы в вербейнике обыкновенном на первом этапе проводили подбор параметров экстракции. Для этого осуществляли экстракцию четырьмя различными способами: экстракция метанолом по методу Сокслета, метанолом методом мацерации, метанолом в среде 0,1н гидроксида натрия методом мацерации и метанолом в среде 0,1н трифторуксусной кислоты (ТФУ) методом мацерации. В ходе эксперимента оценивали максимальный выход сухого экстракта. Тотальные выходы экстрактов представлены в таблице 1. Наибольший выход показал экстракт, полученный метанолом с добавлением ТФУ (19,06±0,57% мас.), а самый низкий выход наблюдался у экстракта, полученного метанольным раствором гидроксида натрия (2,62±0,08% мас.). Метанольные экстракты, полученные по методу Сокслета и методом мацерации, дали выходы, равные 7,18±0,21% мас. и 8,93±0,26% мас. соответственно.

Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии изучено содержание вторичных метаболитов фенольной природы в полученных растительных экстрактах. Самый разнообразный состав имел экстракт, полученный метанольным раствором ТФУ. В нем обнаружено большое содержание хлорогеновой (968,25 мг/кг), кафтаровой (413,30 мг/кг) и феруловой (526,07 мг/кг) кислот, гиперозида (1452,73 мг/кг) и кверцетин-3D-глюкозида (392,24), а также в меньших количествах астрагалин (125,84 мг/кг) и катехин (203,38 мг/кг). Экстракт, полученный по методу Сокслета, был богат гиперозидом с примесью рутина (730,73 мг/кг), кафтаровой кислотой (403,44 мг/кг), в меньшем количестве содержал гиперозид (397,7 мг/кг), лютеолин-7-глюкозид (262,08 мг/кг) и кверцетин-3D-глюкозид (169,44 мг/кг). Также в этом экстракте в небольших количествах присутствовали астрагалин, катехин и цикориевая кислота. Самый маленький выход показал метанольный экстракт, полученный метанолом с добавлением щёлочи. В его составе удалось обнаружить только эллаго-

вую (11,91 мг/кг), розмариновую (8,43 мг/кг) кислоты и катехин (4,22 мг/кг).

Таблица 1. Содержание БАВ в экстрактах вербейника обыкновенного

Экстрагент	Основные компоненты	Количество, мг/мл
Метанол + ТФУ	хлорогеновая кислота	968,25
	каftarовая кислота	413,30
	феруловая кислота	526,07
	гиперозид	1452,73
	астрагалин	125,84
	катехин	203,38
Метанол по методу Сокслета	гиперозид (с примесью рутина)	730,73
	каftarовая кислота	403,44
	гиперозид	397,7
	лютеолин-7-глюкозид	262,08
	кверцетин-3D-глюкозид	169,44
Метанол + гидроксид натрия	эллаговая кислота	11,91
	розиариновая кислота	8,43
	катехин	4,22

Для получения индивидуальных БАВ было проведено фракционирование экстрактов методом жидкостной хроматографии. В результате фракционирования были получены гиперозид (с примесью рутина) (69,60 мг/кг), кверцетин-3D-глюкозид (68,89 мг/кг) и астрагалин (72,73 мг/кг).

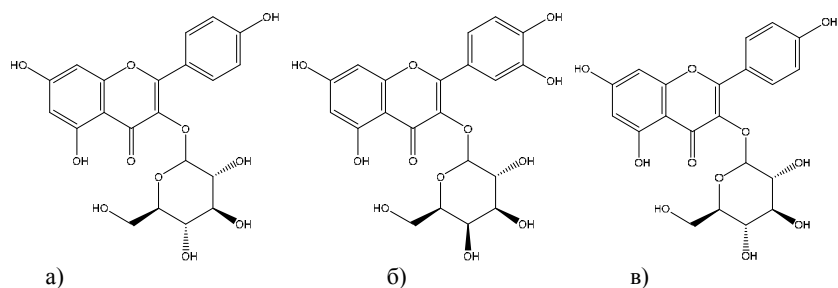


Рис. 1. Структурные формулы выделенных биологически активных веществ:

a – гиперозид; *б* – кверцетин-3D-глюкозид; *в* – астрагалин

Полученные вещества были исследованы на противомикробную активность диско-диффузионным методом. Гиперозид показал активность против *Pseudomonas aeruginosa*. При концентрации 20 мкг/мл диа-

метр зоны задержки роста бактерий составил 6,5 мм, а при увеличении концентрации до 60 мкг/мл – 8,0 мм. Кверцетин-3D-гликозид и астрагалин в концентрациях 20 мкг/мл проявили активность против *Pseudomonas aeruginosa* и *Bacillus subtilis*, которая увеличивалась с повышением концентрации. Против *Escherichia Coli* ни одно из полученных веществ не показало антимикробной активности.

В результате анализа было установлено, что наибольшие тотальный выход экстракта и количество фенольных компонентов наблюдались в экстракте, полученном метанольным раствором ТФУ. Были идентифицированы хлорогеновая, каftarовая и феруловая кислоты, гиперозид, кверцетин-3D-глюкозид, астрагалин и катехин. Из экстрактов удалось выделить гиперозид (с примесью рутина), кверцетин-3D-глюкозид и астрагалин. Эти вещества показали антимикробную активность против *Pseudomonas aeruginosa* и *Bacillus subtilis*. Таким образом, были подобраны параметры для выделения индивидуальных биологически-активных веществ из вербейника обыкновенного, которые могут быть перспективным сырьем для производства биологически активных добавок к пище.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках исполнения Гранта Президента (соглашение No 075-15-2021-310 от 19.04.2021 г. (внутренний номер МД-135.2021.1.4))

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Крюкова С.А.* Изучение качественного и количественного содержания некоторых биологически активных веществ в листьях вербейника обыкновенного, произрастающего на территории Астраханской области // Инновационные научные исследования: сетевой журнал. 2021. №4-1(6). С.17-25.
2. Evaluation of antibacterial, antitumor, antioxidant activities and phenolic constituents of field-grown and in vitro-grown *Lysimachia vulgaris* L / A.B. Yildirim [et al.] // African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines. 2017. T. 14, №. 2. С. 177-187.

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПЕНОГАСИТЕЛЕЙ
ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПЕНЫ ПРИ РАЗГОНКЕ
ТЕХНИЧЕСКОГО ЭТИЛОВОГО СПИРТА,
ПОЛУЧЕННОГО ИЗ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО**

**М.С. Белинов, М.А. Червочкин, О.В. Малышкина,
В.В. Соловьев**

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

Ярославский государственный технический университет

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с переработкой борщевика Сосновского в этиловый спирт и дальнейшей разгонкой полученного спирта-сырца в присутствии отечественных и зарубежных пеногасителей.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, спирт-сырец, пеногасители

**THE USE OF VARIOUS TYPES OF DEFOAMERS TO REDUCE
THE STABILITY OF FOAM DURING ACCELERATION
OF TECHNICAL ETHYL ALCOHOL OBTAINED
FROM SOSNOVSKY HOGWEED**

M.S. Belinov, M.A. Chervochkin, O.V. Malyshkina, V.V. Soloviev

Scientific Supervisor - **V.V. Soloviev**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This article discusses issues related to the processing of Sosnovsky borscht into ethyl alcohol and further processing of the resulting alcohol into biofuels. The authors pay special attention to the stages of the process of processing borscht biomass into alcohol.

Keywords: Sosnowski hogweed, bioethanol, biofuel

В настоящее время спиртовая промышленность Российской Федерации переживает ряд затруднений, которые обусловлены последствиями введения экономических санкций в 2022 году, неблагоприятным инвестиционным климатом и невозможностью эффективной ценовой конкуренции с теневыми производителями, что приводит к снижению объёмов

производимой продукции и приостановке работы значительной части предприятий [1]. Одним из направлений в области импортозамещения, которое способствует повышению эффективности функционирования спиртовых заводов, является поиск нового не традиционного и дешевого источника сахара, а также совершенствование технологии брагоректификации, являющейся наиболее энергоёмкой стадией получения технического этилового спирта, которая во многом определяет его качество [2]. В предыдущих работах [3, 4] таким заменителем промышленного производства сахара предлагалось использовать биомассу борщевика Сосновского, спиртовые вытяжки которого после традиционного сбраживания, содержащегося в нем сахара, составляют от 5 до 9% объема этилового спирта.

В процессе последующей перегонки такого этилового спирта-сырца методом постепенного испарения на нисходящем холодильнике наблюдались случаи вспенивания перегоняемой массы и переброс значительного количества кубового продукта в приемник дистиллята. Все это существенным образом сдерживает промышленную реализацию процесса утилизации техногенного загрязнителя окружающей среды – борщевика Сосновского и переработки содержащихся в нем полезных химических соединений в ценные химические продукты [5].

Опыты по пневматическому разрушению эмульсионной пены, показали, что наименьшая устойчивость пены наблюдается в присутствии в разделяемой среде оксиэтилированных жирных кислот (ОЭЖК) – продукта конденсации жирных кислот, содержащих в молекуле C_{21} и выше с окисью этилена с содержанием последней 65-66% мас. Другие неионогенные поверхностно активные вещества (ПАВ) используемые в работе были представлены: продуктом конденсации моноэфиров ксилетана с 23 молекулами окиси этилена (КМКОЭ), ОП-10 представлял собой продукт реакции алкилфенолов с окисью этилена; проксамин являлся блоксополимером окиси пропилена и окиси этилена с содержанием последней 50%.

Отечественный пеногаситель "ПК" в отличие от всех вышеперечисленных представлял собой композицию на основе кремнийорганической жидкости с добавками неионогенных ПАВ и специальных реактивов. По сообщению производителей он предназначен для гашения пенообразования обезжиривающих растворов гальванического производства, растворов каустической соды и растворов технических моющих средств в струйных машинах. Пеногаситель "ПК" наиболее часто используется для пеногашения в водных растворах ПАВ в процессах беления, крашения, печати, промывки текстильных и меховых материалов. Пеногаситель «ПК» стабилен в щелочных моющих растворах Вертолин-74, Лабомид, гальванических обезжиривающих растворов, содержащих тринатрий-

фосфат каустическую соду, соду кальцинированную, а также эмульгаторы ОП-10, синтанолы ДС-10 и другие анионные ПАВ. По сообщению производителей пеногашение обеспечивается в широких интервалах температур от 40 до 90 °С.

Для количественной оценки пенообразующей способности и устойчивости пены ОЭЖК при разгонке этилового спирта по сравнению с указанными неионогенными ПАВ и всеми другими образцами, были проведены технологические опыты по следующей методике. В мерные цилиндры емкостью 250 мл наливали по 50 мл спиртовой среды комнатной температуры, добавляли равное количество ПАВ (до 0,1% мас.), закрывали цилиндры пробкой, встряхивали их в течение 30 с и измеряли объем пены. Затем устойчивость образовавшейся пены определяли по уменьшению ее объема через 10 мин свободного отстаивания. Результаты опытов приведены в табл. 1-2.

Таблица 1. Пенообразующая способность и устойчивость пены водопроводной воды в зависимости от вида, добавляемого ПАВ

Тип ПАВ	Объем пены через 30 с, мл	Объем пены через 10 мин свобод- ного отстаивания, мл
Без ПАВ	0	0
ОЭЖК	1	0*
Пеногаситель SCHAUMBREMSE	5	3
Пента 463 В	12	8
Пеногаситель «ПК»	15	9
Пента 480 В	17	11
Пента 480 Б	19	12
Пента 480	21	14
КМКОЭ	23	15
Пента 461	27	19
Проксамин	30	22
ПЕНОГАС Технобиор	34	21
Пента 463 А	37	24
Пента 462 А	41	24
ОП-10	45	25
Пента АС 60	46	26

*Пена полностью гасится за 60 с.

Таблица 2. Пенообразующая способность и устойчивость пены неразбавленной этанольно-дрожжевой барды в зависимости от вида, добавляемого ПАВ за 30 с отстаивания

Тип ПАВ	Объем пены через 30 с встряхивания, мл	Время полного свободного гашения, с
Без ПАВ	10	3600
ОЭЖК	7	2
пеногаситель SCHAUMBREMSE	10	4
Пента 463 В	14	5
Пеногаситель «ПК»	21	8
Пента 480 В	25	13
Пента 480 Б	27	15
Пента 480	31	18
КМКОЭ	32	20
Пента 461	37	21
Проксамин	41	21
ПЕНОГАС Технобиор	48	22
Пента 463 А	52	23
Пента 462 А	57	24
ОП-10	60	25
Пента АС 60	62	30

Анализ полученных результатов показывает, что пеногасители на основе ПАВ различной химической структуры примерно одинаково работают в области эффективного разрушения эмульсионной пены. Во всех случаях применения различных типов пеногасителей, пена полностью гасится за 65 секунд свободного отстаивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мандреа А.Г.* Этанол – топливо из возобновляемого растительного сырья // Нефтепереработка и Нефтехимия. 2006. № 3. 35-36.
2. *Карпов С.А.* Актуальные аспекты производства топливного этанола в России и за рубежом // Химия и технология топлив и масел. 2008. № 1. С. 3-5.
3. Рациональное использование биоресурсов борщевика Сосновского / О.В. Вахромеева, Н.В. Гасанова, В.В. Соловьев, А.В. Павлов, В.В. Губич // Путь в науку. Актуальные проблемы биологии, экологии и химии : тезисы докладов конференции / сост. С. Н. Леднев; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. Ярославль: ЯрГУ, 2020. 68 с.
4. Вахромеева О.В. Научные основы комплексной переработки биомассы борщевика Сосновского в этиловый спирт и биотопливо / О.В. Вахромеева, А.Е. Головкин, А.В.Павлов, В.В. Соловьев // 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: Изд-во ЯГТУ, 2020. С. 157-160.
5. *Яровенко В.Л.* Справочник по производству спирта. Сырье, технология и теххимконтроль. М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1981. 336 с.

**ОПТИМИЗАЦИЯ СТАДИЙ ПРЕДОБРАБОТКИ
И ОСАХАРИВАНИЯ СУБСТРАТА
В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА**

Е.А. Буденкова, Е.Г. Чупахин, О.В. Кригер

Научный руководитель – **О.В. Кригер**, д-р техн. наук, профессор

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

Рассмотрен вопрос оптимизации предобработки лигноцеллюлозного сырья и его осахаривания для двухстадийного процесса производства биоэтанола.

***Ключевые слова:** биоэтанол, предобработка лигноцеллюзы, осахаривание, мутагенез, *Aspergillus niger**

**OPTIMIZATION OF PRETREATMENT
AND SACCHARIFICATION SUBSTRATE IN THE PROCESS
OF BIOETHANOL PRODUCTION**

E.A. Budenkova, E.G. Chupahin, O.V. Kriger

Scientific Supervisor – **O.V. Kriger**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

Here we present research of optimizing the pretreatment of lignocellulosic biomass and its saccharification for a two-step method of bioethanol production.

***Keywords:** bioethanol, pretreatment lignocellulose biomass, saccharification, mutagenesis, *Aspergillus niger**

Процесс производства этанола из лигноцеллюлозного сырья состоит из нескольких этапов, каждый из которых вносит вклад в эффективность и стоимость процесса производства спирта [1, 2]. Кроме этого, в последние годы активно разрабатываются экологически чистые методы биоконверсии, не требующие химических веществ [3]. Цель данного исследования заключалась в экспериментальном подборе оптимальных условий проведения предобработки и первого этапа биоконверсии (осахаривания) лигноцеллюлозного сырья с помощью плесневого гриба.

Систематически был изучен процесс делигнификации сухой биомассы мискантуса (*Miscanthus sinensis Zebrinus*), в условиях щелочного гидролиза, окисления преуксусной, пербензойной и пертрифторуксусной кислотами. Оптимальные условия делигнификации сухой биомассы мискантуса, при которых достигается наибольший выход целлюлозы, были получены для случая окислительной делигнификации с использованием пертрифторуксусной кислоты: 60 °С, перемешивание в течение 60 минут.

Анализ методом МАЛДИ-ТОФ масс-спектрометрии водной фракции реакционной смеси после удаления целлюлозы показал наличие низкомолекулярных фрагментов гидроксикоричных спиртов и феноксикумароновых кислот, входящих в состав лигнина. Фрагментация лигнина в случае перфторитриуксусной кислотой сопоставима с действием щелочной делигнификации.

Целлюлоза, полученная в условиях окислительной делигнификации сухой биомассы мискантуса, соответствует техническим условиям и может быть использована в промышленности. Разработана блок-схема и лабораторный протокол получения технической целлюлозы из сухой биомассы мискантуса.

В результате мутагенного воздействия на *A. niger* F-1270 путем УФ-облучения или УФ-облучения в сочетании с последующей обработкой химическим мутагеном были получены условно генетически модифицированные образцы *A. niger* F-1270. Качественная реакция с использованием раствора Конго красный и количественная оценка с использованием ДНС показала увеличение целлюлолитической активности модифицированных образцов *A. niger* (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение ферментной активности микроорганизмов

Штамм <i>A. niger</i>	Активность целлюлаз	Субстрат	
		1	2
Контроль	РВ (мг/ч)	0,37±0,03*	0,67±0,01*
	ФА	0,02±0,01*	0,03±0,01*
УФ	РВ (мг/ч)	0,36±0,02	0,61±0,01
	ФА	0,01±0,01	0,03±0,01
УФ+ХИМ	РВ (мг/ч)	1,78±0,14*	4,83±0,01*
	ФА	0,14±0,01*	0,41±0,02*

Примечание: РВ – редуцирующее вещество; контроль - нативный штамм; УФ – штамм *A. niger* после УФ-облучения в течение 120 мин; УФ + ХИМ – мутантный штамм *A. niger*, полученный УФ-облучением в течение 120 мин с последующей химической обработкой $\text{NaN}_3 + \text{ItBг}$ в течение 30 мин; ФА – ферментативная активность, выраженная в международных единицах активности фермента (У)/г/мин; 1 – фильтровальная бумага, 2 – целлюлоза мискантуса; * – $p < 0.025$.

В завершении были экспериментально подобраны оптимальные условия для проведения ферментативного гидролиза предобработанного субстрата с применением *A. niger*: цитратный буфер с pH 4.4 и с добавлением микросолей среды Мандельса-Вебера, концентрация субстрата 50 г/л, температура 36-42 °С, условия постоянного перемешивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Smuga-Kogut M.* Ionic liquid pretreatment of stinging nettle stems and giant miscanthus for bioethanol production // Scientific Reports. 2021. Vol. 11, № 1. P. 1-11.
2. *Limayem A.* Lignocellulosic biomass for bioethanol production: current perspectives, potential issues and future prospects // Progress in energy and combustion science. 2012. Vol. 38, № 4. P. 449–467.
3. *Verardi A.* Bioconversion of lignocellulosic biomass to bioethanol and biobutanol // Lignocellulosic Biomass to Liquid Biofuels. Academic Press. 2020. P. 67–125.

**РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ АКТИВНОСТИ
КОМПОНЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ
НЕФТЯНЫХ МАСЕЛ N-МЕТИЛПИРРОЛИДОНОМ**

М.С. Бучаев, А.В. Тарасов, Г.В. Рыбина

Научный руководитель – **А.В. Тарасов**, д-р хим. наук, профессор;
Г.В. Рыбина, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается процесс равновесия в системах жидкость – жидкость и жидкость – пар с расчетом коэффициентов активности отдельных компонентов смеси в органической фазе и фазе селективного растворителя.

***Ключевые слова:** экстракция, коэффициенты активности, бинарные коэффициенты*

**CALCULATION OF ACTIVITY COEFFICIENTS
OF COMPONENTS IN THE PROCESS OF CLEANING
PETROLEUM OILS WITH N-METHYLPYRRROLIDONE**

M.S. Buchaev, A.V. Tarasov, G.V. Rybina

Scientific Supervisor - **Tarasov A.V.**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor; **Rybina G.V.**, Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The process of establishing equilibrium in liquid-liquid and liquid-vapor systems is considered with the calculation of the activity coefficients of individual components of the mixture in the organic phase and the selective phase of the solvent.

***Keywords:** extraction, activity coefficients, binary coefficients*

Одним из самых сложных, с точки зрения адекватного моделирования процессов разделения многокомпонентных смесей является экстракция (селективная очистка) масляных нефтяных фракций полярными растворителями, среди которых в настоящее время наибольшее применение получил *N*-метилпирролидон (*N*-МП). Безусловно, данная технология широко изучена и описана в значительном числе экспериментальных и

прикладных научных публикаций. Но для детального изучения процесса и анализа влияния различных факторов на качество получаемых в процессе продуктов и особенностей проведения процесса на производстве желательно иметь модель процесса в одном из современных пакетов прикладных программ. К сожалению, имеющиеся базовые примеры в доступных пакетах практически не содержат информации о деталях моделирования процессов экстракции таких сложных смесей, как масляные фракции. Необходимость разработки модели процесса экстракции и последующей регенерации растворителя возникла в связи с одной из проблем реального производства. В ходе очистки масляных фракций и регенерации растворителя в нем происходит накопление легких масляных компонентов, снижающих эффективность очистки, приводящих к ухудшению вязкостных характеристик очищенных базовых масел, в первую очередь высоковязких остаточных, ухудшению температуры вспышки и ряда других показателей. Существующая технологическая схема процесса, изначально рассчитанная на использование более летучего фурфурола и впоследствии модернизированная под *N*-МП, не содержит технического решения по очистке циркулирующего *N*-МП от накопления в нем легких масляных фракций.

При разработке модели процесса экстракции и регенерации растворителя необходимо было учесть возможность описания процессов равновесия в системах жидкость – жидкость и жидкость – пар, с расчетом коэффициентов активности отдельных компонентов смеси в органической фазе и фазе селективного растворителя.

Для расчета равновесия в системе жидкость – жидкость и жидкость – пар используются следующие уравнения:

Для системы жидкость – пар [1]:

$$K_i = \frac{P_i^0 \cdot \gamma_i}{P_{\text{общ}}}, \quad (1)$$

где K_i – константа фазового равновесия;

P_i^0 – давление насыщенных паров i -го компонента, атм;

γ_i – коэффициент активности компонента i ;

$P_{\text{общ}}$ – общее давление смеси, атм.

Для системы жидкость – жидкость расчетное уравнение выводится следующим формулам:

Из совместного закона Рауля – Дальтона известно [1]:

$$P_{\text{общ}} \cdot y_i = x_i \cdot P_i^0 \cdot \gamma_i, \quad (2)$$

где y_i – мольная доля i -го компонента в паровой фазе, мас. доли;

x_i – мольная доля i -го компонента в жидкой фазе, мас. доли.

Если жидких фаз две при одной паровой, то для двух фаз необходимо записать [1]:

$$P_{\text{общ}} \cdot y_i = x_i^{\text{I}} \cdot P_i^0 \cdot \gamma_i^{\text{I}} \quad (3)$$

$$P_{\text{общ}} \cdot y_i = x_i^{\text{II}} \cdot P_i^0 \cdot \gamma_i^{\text{II}} \quad (4)$$

где $x_i^{\text{I}}, x_i^{\text{II}}, \gamma_i^{\text{I}}, \gamma_i^{\text{II}}$ – составы и коэффициенты активности компонентов каждой фазы.

Из этого следует:

$$x_i^{\text{I}} \cdot P_i^0 \cdot \gamma_i^{\text{I}} = x_i^{\text{II}} \cdot P_i^0 \cdot \gamma_i^{\text{II}} \quad (5)$$

$$x_i^{\text{I}} = x_i^{\text{II}} \cdot \frac{\gamma_i^{\text{II}}}{\gamma_i^{\text{I}}} = x_i^{\text{II}} \cdot K_i^{\text{I}}, \quad (6)$$

где K_i^{I} – константа фазового равновесия для системы жидкость – жидкость.

Наиболее часто используемый в расчетах процессов нефтепереработки термодинамический пакет Peng-Robinson такой возможности расчета коэффициентов активности не дает. Поэтому было решено создать для расчета модельную смесь реальных и гипотетических компонентов C_{14} - C_{30} , представленную для каждого числа атомов углерода в данном диапазоне одним алифатическим компонентом, одним компонентом, содержащим в структуре одно ароматическое кольцо, и одним компонентом, содержащем в структуре молекулы два ароматических кольца. Структура компонентов задавалась с помощью встроенного конструктора UNIFAC, для расчетов коэффициентов активности выбран близкий по смыслу базис UNIQUAC.

Метод UNIFAC позволяет рассчитать коэффициенты активности компонентов на основании групповых составляющих. Поскольку в базе данных пакетов HYSYS и PertoSum отсутствуют типовые компоненты масляных фракций (за исключением *n*-алканов и изо-алканов), необходимо было создать набор гипотетических компонентов разной степени ароматичности.

Решено было разбить широкую масляную фракцию на ряд индивидуальных компонентов класса алканов, имеющих в базе данных, алкилароматических соединений с одним ароматическим ядром ($1ArC_n^*$) и высоко полярных, в том числе конденсированных алкилароматических соединений с двумя ароматическими ядрами ($2ArC_n^*$).

С помощью внутреннего конструктора UNIFAC были созданы гипотетические компоненты следующего строения [1].

Таблица 1. Разбивка по UNIFAC гипотетических компонентов

Гипотетические компоненты	Число групп				
	CH ₃ -	-CH ₂ -	ACH	AC	t _{кип} , °C
1ArC14	2	5	4	2	255
2ArC14	1	0	8	4	286
1ArC19	2	9	4	2	347
2ArC19	2	2	8	4	356
1ArC20	2	10	4	2	370
2ArC20	2	4	8	4	401
1ArC21	2	10	4	2	370
2ArC21	2	3	8	4	379
1ArC22	2	11	4	2	393
2ArC22	2	3	8	4	378
1ArC23	2	11	4	2	393
2ArC23	2	4	8	4	401
1ArC24	2	11	4	2	393
2ArC24	2	4	8	4	401
1ArC25	2	11	4	2	393
2ArC25	2	5	8	4	424
1ArC26	2	12	4	2	416
2ArC26	2	5	8	4	424
1ArC27	2	13	4	2	438
2ArC27	2	6	8	4	447
1ArC28	2	13	4	2	438
2ArC28	2	6	8	4	447
1ArC29	2	14	4	2	461
2ArC29	2	7	8	4	470
1ArC30	2	14	4	2	461
2ArC30	2	7	8	4	470

Как видно из табл. 1, принятый набор компонентов охватывает по температуре кипения весь диапазон масляных фракций (250–470).

Термодинамический пакет для расчета выбран UNIQUAC, имеющий ту же структуру расчета, что и метод UNIFAC.

С помощью встроенного блока расчета параметров бинарного взаимодействия был получен базовый набор бинарных коэффициентов, частично представлен в табл. 2.

Таблица 2. Базовый набор бинарных коэффициентов компонентов

	n-C14	1ArC14	2ArC14	...	2ArC30	N-MP*	H2O
n-C14	-	44,7	-25,0	...	82,9	19,8	4987,4
1ArC14	-34,3	-	54,5	...	48,2	16,6	2938,3
2ArC14	92,3	-29,1	-	...	65,0	87,8	2491,2
n-C15	-46,3	-21,8	-24,6	...	82,5	100,0	22755,4
n-C16	-44,1	-21,3	-24,7	...	82,1	200,0	22562,8
n-C17	-45,3	-21,4	-25,8	...	82,0	250,0	22375,9
n-C18	7,3	-33,6	-67,6	...	81,6	300,0	13260,4
n-C19	-9,1	-33,9	-66,1	...	79,2	348,4	13212,4
...
2ArC29	-61,7	-45,3	-47,1	...	49,5	-56,5	43237,0
n-C30	-57,6	-33,2	-49,5	...	62,2	341,9	12523,5
1ArC30	-46,0	-44,4	-26,6	...	56,9	22,2	22007,3
2ArC30	-61,7	-45,3	-47,1	...	-	-56,9	43237,0
N-MP*	319,0	152,0	-86,0	...	300,0	-	-385,2
H2O	200,0	200,0	200,0	...	-670,5	381,6	-

Полученный набор бинарных коэффициентов в дальнейшем планируется использовать для моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рид Р. Свойства газов и жидкостей: Справочное пособие / Р. Рид, Д. Праусниц, Т. Шервуд; пер. с англ. под ред. Б.И. Соколова. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Химия, 1982. 592 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ РАСТВОРИТЕЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЯНЫХ МАСЕЛ

М.С. Бучаев, А.В. Тарасов, Г.В. Рыбина

Научный руководитель – **А.В. Тарасов**, д-р хим. наук, профессор;
Г.В. Рыбина, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается причина накопления в растворителе селективной очистки масляной фракции в производстве КМ-2.

Ключевые слова: *N-метилпирролидон, рафинат, экстракт, упрощенная схема экстракции, масляная фракция*

SIMULATION OF THE PROCESS OF SOLVENT REGENERATION FOR CLEANING PETROLEUM OILS

M.S. Buchaev, A.V. Tarasov, G.V. Rybina

Scientific adviser - **A.V. Tarasov**, Doctor of Chemical Sciences,
Professor; **G.V. Rybina**, Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The reason for the accumulation of the oil fraction in the selective purification solvent in the production of KM-2 is considered.

Keywords: *N-methylpyrrolidone, raffinate, extract, simplified extraction scheme, oil fraction*

С целью анализа причин накопления и способов улучшения качеств растворителя селективной очистки (N-МП) масляной фракции в производстве КМ-2 ПАО “Славнефть-ЯНОС” разработана модель блока экстракции одной базовой масляной фракции, а также отделения регенерации растворителя из рафината и экстракта. Модель предусматривает очистку рециркулирующего растворителя от накапливающихся в нем легких масляных фракций. Предварительные расчеты по созданной модели подтвердили значительное накопление легких компонентов в циркулирующем N-МП. При этом показано, что отсутствие какого-либо эта-

па очистки всего или части циркулирующего экстрагента приводит к накоплению в нем аномально высокого количества легких фракций.

Упрощенная схема экстракции и регенерации растворителя очистка нефтяных масел для одного потока представлена на рисунке 1.

Разработана модель процесса, адекватно описывающая работу оборудования. Показано, что циркулирующий N-МП действительно накапливает до 5% мас. и более легких балластных фракций, ухудшающий процесс повторной очистки масел. Анализ схемы показал, что существует возможность вывести часть легких масел из циркулирующего N-МП. В действующей схеме есть узел (емкость E-5), в котором может отслаиваться легкое масло, но нет оборудования для его отвода и отмывки масла от N-МП с целью уменьшения его потерь.

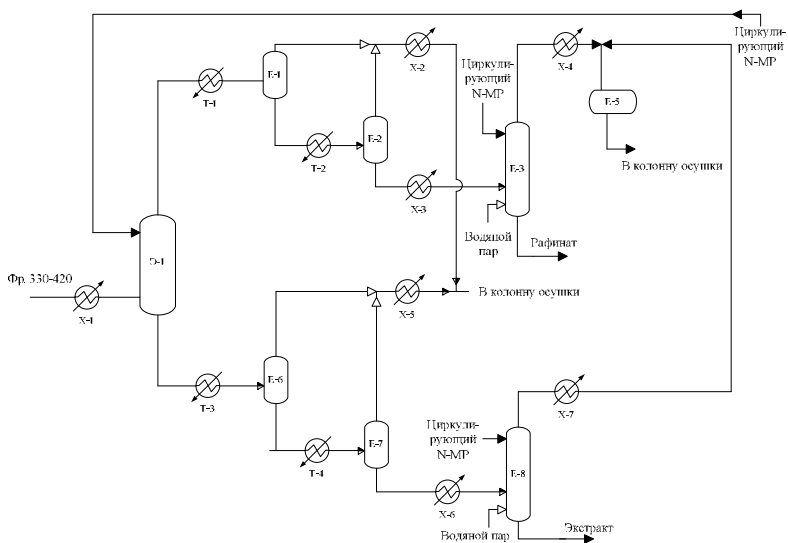


Рис. 1. Упрощенная схема действующего блока экстракции одной базовой фракции и отделения регенерации растворителя из рафината и экстракта

Состав рециркулирующего N-МП представлен в табл. 1.

Для модернизации схемы и процесса необходима дополнительная колонна отмывки отслаивающихся легких углеводородов от N-МП для предотвращения его потерь. Модернизированная схема представлена на рис. 2.

Таблица 1. Состав рециркулирующего N-МП

Ком-ты	кг/ч	Ком-ты	кг/ч	Ком-ты	кг/ч
n-C14	607	n-C19	69	1ArC21	136
1ArC14	538	1ArC19	75	2ArC21	112
2ArC14	202	2ArC19	75	n-C22	52
n-C15	525	n-C20	153	1ArC22	55
n-C16	291	1ArC20	130	2ArC22	126
n-C17	178	2ArC20	32	n-C23	38
n-C18	110	n-C21	83	1ArC23	74
2ArC23	62	1ArC26	31	n-C29	5
n-C24	31	2ArC26	27	1ArC29	9
1ArC24	95	n-C27	3	2ArC29	8
2ArC24	82	1ArC27	6	n-C30	39
n-C25	27	2ArC27	5	1ArC30	16
1ArC25	123	n-C28	3	2ArC30	14
2ArC25	39	1ArC28	8	N-МП	109906 (95%)
n-C26	13	2ArC28	7	H2O	39

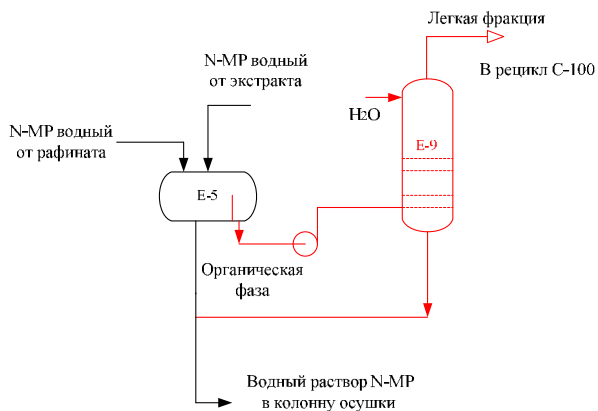


Рис. 2. Модернизированная схема

Рассчитаны составы потоков и параметров работы, действующего и дополнительного оборудования после модернизации чистота циркулирующего N-МП, как показывают расчеты, улучшается до > 98%.

УДК 66.021.4

**РАСЧЕТ КОНЕЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР ФАЗ
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ИХ ЧЕРЕЗ СМЕСИТЕЛЬ
ГАЗОЖИДКОСТНОГО АППАРАТА С ЭЖЕКЦИОННЫМ
ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ ГАЗА**

М.А. Гончарова, М.С. Белинов, О.Н. Коралева, В.К. Леонтьев

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

Ярославский государственный технический университет

На основе уравнений теплового баланса и основного уравнения теплопередачи выполнен расчет конечных температур фаз при прохождении их через смеситель газожидкостного аппарата с эжекционным диспергированием газа.

Ключевые слова: газожидкостный эжекционный аппарат, теплообмен, коэффициент теплоотдачи, температура

**CALCULATION OF THE FINAL TEMPERATURES
OF THE PHASES WHEN THEY PASS THROUGH
THE MIXER OF A GAS-LIQUID APPARATUS
WITH EJECTION DISPERSION OF GAS**

M.A. Goncharova, M.S. Belinov, O.N. Korableva, V.K. Leontiev

Scientific Supervisor - **V.K. Leontiev**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

On the basis of the heat balance equations and the main heat transfer equation, the final temperatures of the phases are calculated when they pass through the mixer of a gas-liquid apparatus with ejection gas dispersion.

Keywords: gas-liquid ejection apparatus, heat exchange, heat transfer coefficient, temperature

В газожидкостном аппарате с эжекционным диспергированием газа, схема которого представлена на рис. 1. Жидкость, выходя из форсунки 1, дробится на капли и эжектирует газ. При движении газожидкостной смеси по смесителю 2 сверху вниз между фазами происходит теплооб-

мен. Если жидкая фаза имеет большую температуру, то происходит передача тепла от капель жидкой фазы к газу.

Целью данной работы является расчет конечных температур фаз при однократном проходе их через смеситель.

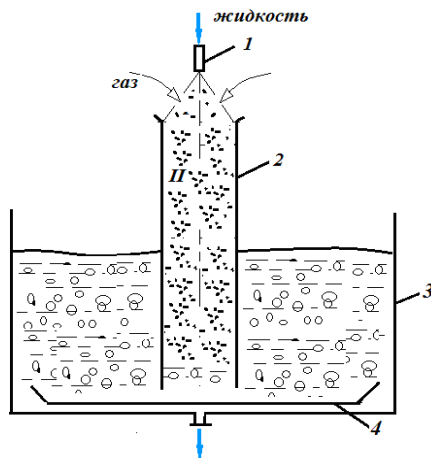


Рис. 1. Схема газожидкостного аппарата с эжекционным диспергированием газа:

1 - форсунка; 2 - смеситель; 3 - корпус; 4 - диспергатор

Для расчета использовались следующие уравнения:

1. Уравнение теплового баланса:

$$Q = Q_{жс} = Q_г$$

или

$$Q_{жс} = G_{жс} \cdot c_{жс} \cdot (t_{жс}^H - t_{жс}^K),$$

$$Q_г = G_г \cdot c_г \cdot (t_г^H - t_г^K),$$

где $Q_{жс}$ – количество тепла, которое отдает жидкая фаза, Вт;
 $Q_г$ – количество тепла, которое получает газовая фаза, Вт;

$G_{жс}$ – массовый расход жидкой фазы, кг/с;

$G_г$ – массовый расход газовой фазы, кг/с;

$c_{жс}$ – удельная теплоемкость жидкости, Дж/(мК);

$t_{жс}^H$ – начальная температура жидкости, °С;

$t_{жс}^K$ – конечная температура жидкости, °С;

$c_г$ – удельная теплоемкость газа, Дж/(мК);

$t_г^H$ – начальная температура газа, °С;

$t_г^K$ – конечная температура газа, °С.

2. Основное уравнение теплопередачи:

$$Q = \alpha_2 \cdot S \cdot \Delta t_{cp},$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² К);

S – площадь поверхности теплопередачи, м²;

Δt_{cp} – средняя разность температур, К.

Пренебрегая термическим сопротивлением в жидкой фазе, принимаем коэффициент теплопередачи, равным коэффициенту теплоотдачи от капли к газу ($K = \alpha_2$). Площадь поверхности теплоотдачи S необходимо определяется через число капель в смесителях.

Средняя разность температур рассчитывается или как среднеарифметическое, или как среднее логарифмическое.

Расчет конечных температур жидкости и газа на выходе из смесителя: $t_{ж}^k, t_{г}^k$ проводится методом последовательных приближений, соблюдая условие:

$$Q = Q_{ж} = Q_{г}.$$

Выполнен расчет конечных температур фаз при однократном проходе их через смеситель при следующих режимных и конструктивных параметрах:

диаметр аппарата 0,5 м;

диаметр смесителя 58 мм;

длина смесителя 0,8 м;

массовый расход жидкости 4,39 кг/с;

массовый расход газа 0,022 кг/с; плотность жидкости 1000 кг/м³;

плотность газа 1,15 кг/м³;

начальная температура жидкости 80 °С;

начальная температура газа 20 °С;

скорость относительного движения фаз 0,5 м/с;

динамический коэф. вязкости газа $18,1 \cdot 10^{-6}$ Па с;

удельная теплоемкость жидкости 4190 Дж/(кг·К);

удельная теплоемкость газа 1000 Дж/(кг·К);

коэффициент теплопроводности газа 0,0279 Вт/(м К).

В расчетах диаметр капель – выполнить расчет от 2 до 4 мм (через шаг 0,2 мм).

В результате расчета получены значения конечных температур фаз при однократном проходе их через смеситель. На рис. 2 представлена зависимость этих значений от диаметра капель жидкости.

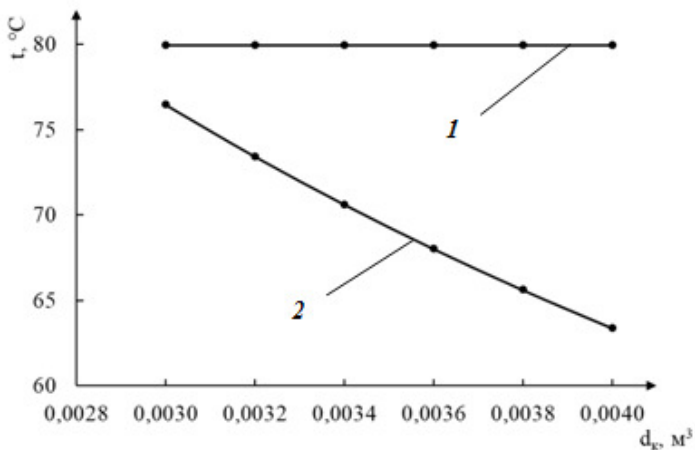


Рис. 2. Зависимость температур от диаметра капель жидкости:

1 – $t_{ж}^к$ – конечная температура жидкости;

2 – $t_{г}^к$ – конечная температура газа

Данная методика позволяет выполнить расчет для диаметра капель жидкости от 3 и более миллиметров. Для диаметров менее 3 мм расчет нецелесообразен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Леонтьев В.К.* Разработка конструкций газожидкостных эжекционных аппаратов / В.К. Леонтьев, О.Н. Кораблева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2016. № 3. С. 8–10.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ В КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

**И.Т. Каримов, А.С. Исомидинов, Г.И. Мадаминова,
Х.Р. Хомидов, А.А. Махмудов**

Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье проведен многоэтапный системный анализ применения реберных конструкций в кожухотрубных устройствах и его влияние на эффективность работы и процессы теплообмена на основе анализа существующих проблем. Определены иерархические уровни системного анализа и выбраны оптимальные варианты, на основе которых разработана усовершенствованная конструктивная схема сферического профиля полой трубы.

Ключевые слова: оболочка, анализ, иерархический садкс, MATLAB, теплообмен

SYSTEMATIC ANALYSIS OF PROCESS INTENSIFICATION IN SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGERS

**I.T. Karimov, A.S. Isomidinov, G.I. Madaminova,
H.R. Homidov, A.A. Mahmudov**

Fergana Polytechnic Institute, Uzbekistan

In the article, based on the analysis of existing problems, a multi-stage system analysis of the use of rib structures in shell-and-tube devices and its impact on the efficiency of work and heat transfer processes is carried out. The hierarchical levels of system analysis are determined and the optimal options are selected, on the basis of which an improved constructive scheme of the spherical profile of a hollow pipe is developed.

Keywords: shell, analysis, hierarchical sadx, MATLAB, heat transfer

На основе программы MATLAB рассмотрено влияние внутренних труб и зон теплообмена на процесс теплообмена в кожухотрубном теплообменнике и визуальное состояние происходящих внутри аппарата событий.

Первый этап: На первом начальном иерархическом уровне рассматривается теплообменник в виде системы с теплообменным

процессом. Аппарат разделен на зоны теплоотдачи и теплообмена. Задаются входные и выходные параметры системы. На рис. 1 представлена схема анализируемого аппарата обечайки, а на рис. 2, а и б – общий вид сферической выпускной и сферической донной труб.

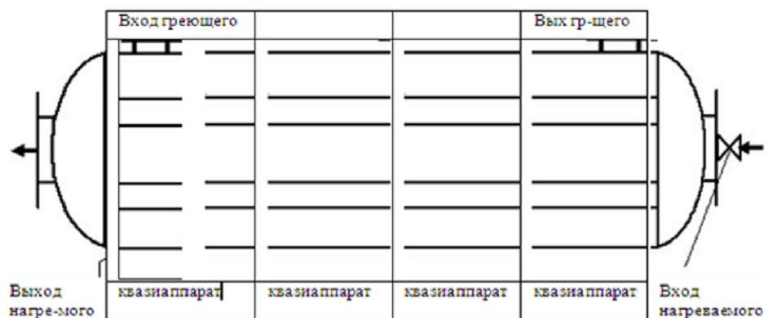


Рис. 1. Схема зонирования и ее работа по длине рабочей зоны кожухотрубного теплообменника

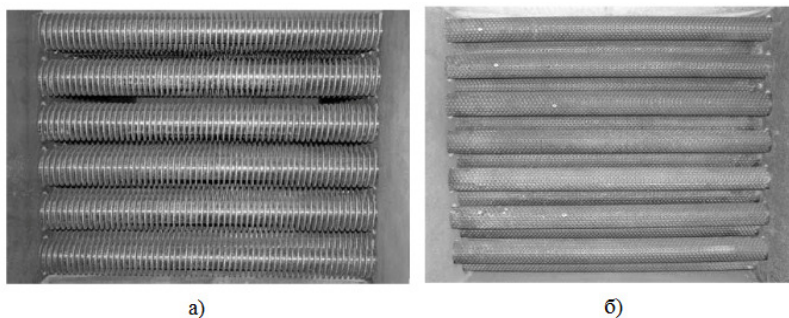


Рис. 2. Общий вид внутренних профилей труб
а – выпускной сферический патрубок; б – сферическая полая труба

Второй этап: На втором иерархическом уровне анализировалось изменение температуры в каждой зоне во времени, предполагая, что аппарат состоит из теплоносителя и продукта теплопередачи, рабочей зоны и выходной зоны. Входные и выходные параметры каждой системы определяются отдельно. На рис. 3 представлен график изменения температуры во времени в зонах (квазиаппаратах).

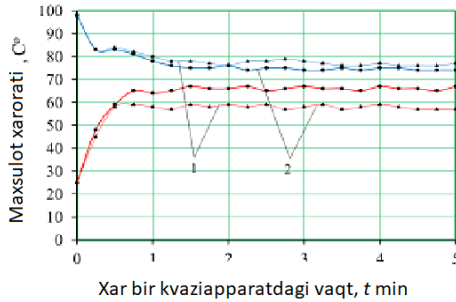


Рис. 3. Изменение температуры нагрева и теплоносителей в зонах во времени:

1 - сферический выход в трубу; 2 - в сферической углубленной трубке

Третий этап: На третьем иерархическом уровне была проанализирована пусковая динамика рабочей зоны теплообменника и построена схема пусковой динамики методом компьютерного моделирования. На рис. 4 показана динамика запуска каждой зоны.

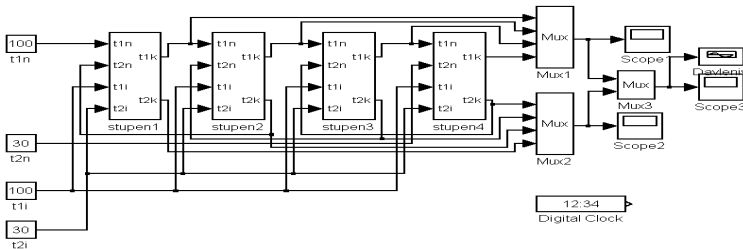


Рис. 4. Компьютерная модель запуска каждой зоны

Этап 4: На четвертом иерархическом уровне каждая зона в аппарате (камера нагрева, ребра внутренней трубы, стенки трубы и такие элементы, как жидкость внутри трубы) рассматривалась отдельно на предмет ее влияния на процесс. При этом тепловой агент подавался в прямоточном и противоточном направлениях к нагреваемому продукту. В качестве входных и выходных параметров каждой системы были взяты определяемые показатели. Температуру, при которой продукт нагрева проходит через каждую зону, анализировали во времени. Предполагалось, что максимальная температура подъема будет равна 100 °С, а минимальная температура подъема будет принята равной 70 °С. Для экспериментов была выбрана установка длиной 800 мм. На рис. 5 показано изменение во времени температуры продукта нагрева в зонах аппарата.

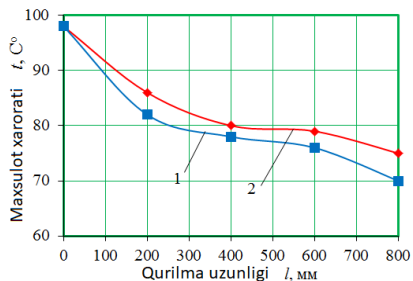


Рис. 5. Повышение температуры продукта нагрева в аппарате длиной 800 мм

Из данных, приведенных на рис. 5, видно, что увеличение зон улучшает интенсивность теплообмена, но увеличивает гидравлическое сопротивление в аппарате. При этом необходимо учитывать затраты времени на каждый процесс. Следующие эмпирические формулы были получены методом наименьших квадратов для графических зависимостей на рис. 5 [3]. Экспериментальная погрешность между вторым иерархическим уровнем и третьим иерархическим уровнем не превышала 2%.

$$1) y = 0,062x + 51, \quad R^2 = 0,9966; \quad (1)$$

$$2) y = 0,063x + 20,2, \quad R^2 = 0,9990. \quad (2)$$

Системный анализ выявил изменение во времени температуры теплового агента и нагреваемого продукта в зонах теплообменника с противоточным потоком.

По мере того, как температура холодной жидкости увеличивается от зоны к зоне, температура горячей жидкости уменьшается. По результатам анализа можно выбрать оптимальную длину трубы, либо оптимальный размер поверхности теплообмена, а также теплообменного аппарата. С увеличением количества зон точность модели увеличивается, но увеличивается гидравлическое сопротивление. Этот метод системного анализа позволяет точно рассчитать систему и процесс теплообмена. Результаты системного анализа указанных выше профилей труб по их параметрам показали, что процесс взаимного теплообмена между продуктом и теплоагентом на обоих иерархических уровнях происходят значительно лучше в трубе со сферическим дном, чем в трубе со сферическим днищем. Однако отсутствие регулирования режима течения в сферической заглубленной трубе вызывает неудобство в использовании трубы. Это, в свою очередь, связано с конструкцией трубопровода. По результатам проведенного выше системного анализа

была разработана усовершенствованная конструктивная схема сферического профиля углубленной трубы (рис. 6).

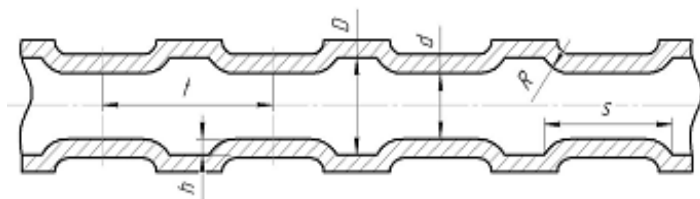


Рис. 6. Конструктивная схема предлагаемой сферической углубленной трубы:

D и d – внутренние диаметры трубы; S – длина сферического углубления;
 h – высота сферического углубления; R – радиус сферического углубления;
 t – расстояние до центра двух сферических углублений

Преимущество предлагаемой сферической углубленной трубы перед существующими трубами состоит в том, что, во-первых, длина сферической углубленной S обеспечивает увеличение режима течения теплоагента. И наоборот, внутренний диаметр трубы d нарушает режим течения, что в свою очередь увеличивает сопротивление внутри трубы. В результате процесс теплообмена ускоряется. Однако недостаточно исследовано влияние гидродинамических режимов на процесс теплообмена в трубе этого профиля. Поэтому предлагаемая сферическая сливная труба предназначена для изучения влияния гидродинамического режима на процесс теплообмена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Исомидинов А.С.* Создание эффективные методы и устройства для очистки газов от пыли химической промышленности: дис. ... канд. техн. наук. Ташкент, 2020. 136 с.
2. *Исомидинов А.С.* Хўл усулда чангли газларни тозаловчи роторли курилма / А.С. Исомидинов, Р.Ж. Тожиев, И.Т. Каримов // ФарПИИлмий-техника журнали. 2018. Фар-она, 2018. №1. С. 195-198.
3. *Шамшидинов И.* Ноорганик моддалар ва минерал ўғитлар технологияси. Тошкент: Иқтисод-молия, 2014. 332 с.
4. *Раманков П.Г.* Сборник расчётных диаграмм по курсу процессов и аппаратов химической технологии / П.Г. Раманков, А.А. Носков. М.: Химия, 1977. 456 с.
5. *Бретшнайдер С.* Свойства жидкостей и газов. Л.: Химия, 1969. 650 с.
6. *Эргашев Н.А.* Научно-технические основы использования в промышленности аппарата для мокрого пылеулавливания и газоочистки: дис. ... канд. техн. наук. Ташкент, 2021. 116 с.

7. *Мадаминова Г.И.* Барабанное устройства для мокрой очистки запыленного газа и воздуха / Г.И. Мадаминова, Р.Ж. Тожиев, И.Т. Каримов // *Universum: технические науки.* 2021. № 5 (86). Ч. 4. С. 45-49.
8. *Исомидинов А.С.* Хўл усудда чангли газларни тозаловчи роторли курилма / А.С. Исомидинов, Р.Ж. Тожиев, И.Т. Каримов // *ФарПиилмий-техника журнали.* 2018 Фар-она. 2018. №1. С. 195-198.
9. *Домуладжанов И.Х.* Вредные вещества после сухой очистки в циклонах и фильтрах / И.Х. Домуладжанов, Г.И. Мадаминова // *Universum: технические науки.* 2021. № 6-1 (87). С. 5-10.
10. Wet method dust remover black drum device / I. Karimov, R. Tojiyev, G. Madaminova, Q. Ibroximov, O.T. Xamdamov // *Барқарорлик ва Етакчи Тадқиқотлар онлайн илмий журнали.* 2021. 1(5). С. 57-63.
11. Hydrodynamics of wet dush powder black drum equipment / I. Karimov, R. Tojiyev, G. Madaminova, Q. Ibroximov, O.T. Xamdamov // *Барқарорлик ва Етакчи Тадқиқотлар онлайн илмий журнали.* 2021. 1(5). С. 49-56.
12. *Isomidinov A.* Studying the Effect of Interior Scrubber Hydraulic Resistance on Cleaning Efficiency / A. Isomidinov, G. Madaminova, D. Qodirov, M. // Ahmadaliyeva, *International Journal of Innovative Analyses and Emerging Technology.* 2021. 1(5). С. 87-93.

ПИНЧ-АНАЛИЗА В ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕПЛООБМЕННОЙ СЕТИ УСТАНОВКИ ЭЛОУ-АТ

А.М. Лобова, А.К. Григоричев

Научный руководитель – **А.К. Григоричев**, канд. хим. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

В настоящее время в связи с удорожанием основных видов промышленных энергоносителей все большее значение приобретают вопросы энергосбережения. Оптимизация процессов теплообмена с рекуперативным использованием тепла и холода технологических процессов является одним из возможных путей снижения энергетических затрат.

***Ключевые слова:** энергосбережение, пинч-анализ, теплообменные сети*

PINCH-ANALYSIS IN THE DESIGN OF THE HEAT EXCHANGE NETWORK OF THE ELOU-AT INSTALLATION

A.M. Lobova, A.K. Grigorichev

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

Yaroslavl State Technical University

Currently, due to the rise in price of the main types of industrial energy carriers, energy conservation issues are becoming increasingly important. Optimization of heat exchange processes with the regenerative use of heat and cold of technological processes is one of the possible ways to reduce energy costs.

***Keywords:** energy saving, pinch-analysis, heat exchange networks*

В настоящее время в связи с удорожанием основных видов промышленных энергоносителей все большее значение приобретают вопросы энергосбережения. В значительной мере это обусловлено тем, что технологические схемы действующих сейчас в России предприятий созданы во время относительно дешевых энергоносителей. Поэтому большинство российских предприятий требуют реконструкции с использованием современных ресурсо- и энергосберегающие методы проектирования.

Один из таких методов, известный в настоящее время как «пинч-анализ» [1], представляет собой методологию для минимизации потребления энергии в химических процессах путем расчета термодинамически осуществимой целевой энергии (или минимума потребления энергии) и ее достижение путем оптимизации рекуперации тепла системы, методов подвода энергии и условий эксплуатации. Литературные данные, опубликованные в различных источниках, показывают, что применение подобного подхода позволяет снизить энергопотребление в среднем на 30-40 %.

В работе поставлена задача проектирования схемы теплообменной сети установки ЭЛОУ-АТ с использованием принципов пинч-анализа [2] и определения ориентировочных площадей поверхности теплообмена.

Характеристики потоков технологической системы представлены в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные для проектирования

Поток	ММ, кг/кмоль	ρ_4^{20}	$t_{нач}$, °С	$t_{кон}$, °С	G , кг/с
Нефть до ЭЛОУ	233,46	0,8577	5,0	100,0	167,7
Нефть после ЭЛОУ	233,46	0,8577	100,0	240,0	167,7
Керосин	166,63	0,8000	212,8	40,0	15,89
Легкое ДТ	213,51	0,8435	280,4	40,0	17,51
Тяжелое ДТ	257,67	0,8725	336,7	40,0	12,57
1 ЦО К-2 + ДТ К-5	286,64	0,7905	227,8	127,8	39,41
2 ЦО К-2	339,24	0,8053	292,9	192,9	35,74
3 ЦО К-2	444,54	0,8182	341,8	241,8	35,37
1 ЦО К-5	290,91	0,8894	192,7	40,0	8,66
2 ЦО К-5	558,04	0,9581	222,6	122,6	92,46
Газ К-5	226,76	0,8532	60,4	40,0	0,03
Широкая масляная фр.	341,83	0,9097	282,5	40,0	17,91
Металлизированная фр.	422,01	0,9328	362,2	40,0	23,04
Гудрон	676,75	0,9725	365,0	90,0	41,97

Расчёты и анализ ведутся по известной методике [2]. Так как в системе преобладают горячие потоки, имеется возможность полностью удовлетворить потребности холодных потоков в рекуперированном тепле. Минимальная разность температур принимается равной 94°.

Предлагаемая схема теплообмена представлена на рис. 1. Из неё видно, что ряд потоков предполагается расщепить на несколько меньших (по мощности). Параметры потоков после расщепления приведены в табл. 2.

Таблица 2. Расщепление потоков

Исходный поток	Новый поток	Доля от исходного, % мас.	G , кг/с	CP , Дж/(К·с)	$T_{нач}$, °С	$T_{кон}$, °С
Нефть после ЭЛОУ	НПЭ1	24,99	41,91	102,62	100,00	188,46
	НПЭ2	23,71	39,77	97,39	100,00	188,46
	НПЭ3	13,16	22,07	54,05	100,00	188,46
	НПЭ4	9,83	16,50	40,39	100,00	188,46
	НПЭ5	9,71	16,28	39,87	100,00	188,46
	НПЭ6	11,33	19,00	46,52	100,00	188,46
	НПЭ7	7,27	12,20	29,88	100,00	188,46
Нефть до ЭЛОУ	НДЭ1	61,83	103,72	204,37	5,00	100,00
	НДЭ2	30,39	50,97	100,44	5,00	100,00
	НДЭ3	7,78	13,05	25,71	5,00	100,00
Нефть выше пинча	НН1	71,92	120,63	295,37	188,46	240,00
	НН2	28,08	47,11	115,34	188,46	240,00

Параметры воздушных, водяных и рекуперативных теплообменников представлены в табл. 3-5.

Таблица 3. Ориентировочные площади поверхности теплообмена в воздушных холодильниках

Охлаждаемый поток	F , м ²	Охлаждаемый поток	F , м ²	Охлаждаемый поток	F , м ²
Керосин	688	1 ЦО К-2 + ДТ К-5	1155	Широкая масляная фр.	701
Легкое ДТ	701	1 ЦО К-5	314	Металлизированная фр.	950
Тяжелое ДТ	525	2 ЦО К-5	240		

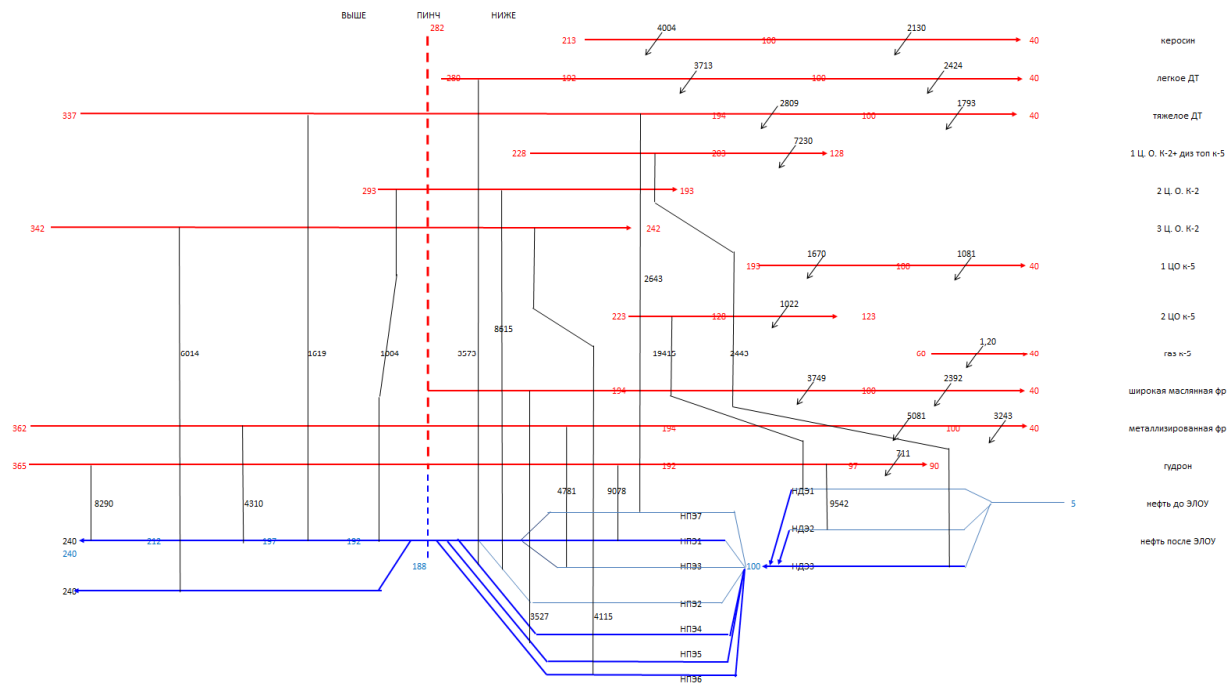


Рис. 1. Предлагаемая схема теплообменной сети

**Таблица 4. Ориентировочные площади поверхности теплообмена
в водяных холодильниках**

Охлаждаемый поток	$F, \text{ м}^2$	Охлаждаемый поток	$F, \text{ м}^2$	Охлаждаемый поток	$F, \text{ м}^2$
Керосин	231	1 ЦО К-5	117	Керосин	231
Легкое ДТ	262	Широкая масляная фр.	259	Легкое ДТ	262
Тяжелое ДТ	194	Гудрон	41	Газ К-5	1

**Таблица 5. Ориентировочные площади поверхности теплообмена
в рекуперативных теплообменниках (при принятом коэффициенте теплопередачи, равном 200)**

Первый поток	Второй поток	$F, \text{ м}^2$	Первый поток	Второй поток	$F, \text{ м}^2$
НН1	2 ЦО К-2	51	НПЭ1	Гудрон	488
НН1	Тяжелое ДТ	70	НПЭ2	2 ЦО К-2	461
НН1	Металлизированная фр.	183	НПЭ3	Металлизированная фр.	254
НН1	Гудрон	424	НПЭ4	Легкое ДТ	194
НН2	3 ЦО К-2	307	НПЭ5	Широкая масляная фр.	188
НДЭ1	2 ЦО К-2	920	НПЭ6	3 ЦО К-2	174
НДЭ2	Гудрон	518	НПЭ7	Тяжелое ДТ	141
НДЭ3	1 ЦО К-2 + ДТ К-5	75			

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Тованяжский [и др.]. Харьков: НТУ ХПИ, 2000. 458 с.
2. Гирба Е.А. Теоретические основы энергоресурсосбережения: Учеб. пособие / Е.А. Гирба, В.К. Леонтьев. Ярославль: Изд-о ЯГТУ, 2011. 132 с.

УДК 621.577:66.048

ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

М.В. Люшина, А.К. Григоричев

Научный руководитель – **А.К. Григоричев**, канд. хим. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

В настоящее время в связи с удорожанием основных видов промышленных энергоносителей все большее значение приобретают вопросы энергосбережения. Использование тепловых насосов является одним из возможных путей снижения энергетических затрат, особенно в технологических процессах с низкопотенциальными источниками тепла.

Ключевые слова: энергосбережение, тепловой насос, ректификация

HEAT PUMPS AND THEIR APPLICATION IN THE CHEMICAL INDUSTRY

M.V. Lyushina, A.K. Grigorichev

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

Yaroslavl State Technical University

Currently, due to the rise in price of the main types of industrial energy carriers, energy conservation issues are becoming increasingly important. The use of heat pumps is one of the possible ways to reduce energy costs, especially in technological processes with low-potential heat sources.

Keywords: energy saving, heat pump, rectification

Работа теплового насоса (ТН) основана на использовании закономерностей цикла Карно. Его можно рассматривать как обращенную тепловую машину. Практическую теплонасосную систему, которая была названа автором умножитель тепла, предложил Вильям Томсон (лорд Кельвин) в 1852 г. Она показывала, как можно эффективно использовать для целей отопления холодильную машину [1].

Тепловая машина получает тепло от высокотемпературного источника и сбрасывает его, совершая полезную работу (при снижении температуры рабочего тела). Тепловой насос наоборот, требует затраты работы для получения тепла при низкой температуре и отдачи его при более высокой. Таким образом, тепловой насос представляет собой термодинамическую установку, в которой благодаря затрате внешней энергии теплота от низкопотенциального источника передается потребителю при более высокой температуре.

Особенно повысился интерес к ТН в последнее время. В Европе, Японии и США где выпускают промышленные установки как для бытовых, так и для промышленных целей [2].

Парокомпрессионный ТН (рис. 1) состоит из испарителя, компрессора, служащего для сжатия паров рабочего тела (РТ), конденсатора, в котором происходит переход парообразного холодильного агента в жидкое состояние, и дроссельного вентиля, в котором происходит процесс дросселирования – понижение давления. В результате часть жидкости превращается в пар, температура понижается, при этом ее энтальпия остается неизменной [1]. В испарителе поддерживаются более низкие, а в конденсаторе – более высокие температура и давление РТ. При этом в конденсаторе РТ превращается в жидкость. Теплота, отводимая от конденсатора, используется для нагревания теплоносителя. Характерно, что в тепловых насосах расходуется энергия, необходимая только для работы компрессора, который является главным компонентом теплового насоса.

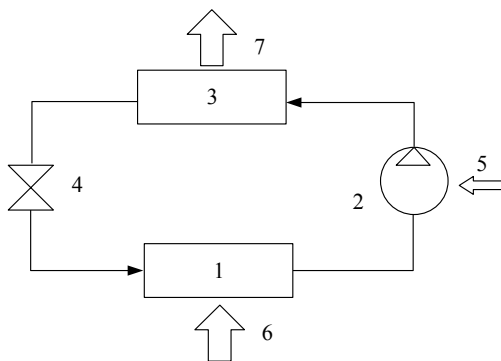


Рис. 1. Схема теплового насоса:

- 1 – испаритель; 2 – компрессор; 3 – конденсатор; 4 – дроссельный вентиль;
 5 – электрическая энергия; 6 – теплота от низкопотенциального источника
 тепловой энергии; 7 – теплота, отводимая от конденсатора

Существуют также абсорбционные, эжекторные, термоэлектрические тепловые насосы.

В промышленных установках существует множество вариантов применения ТН [2]. Обычная ректификационная колонна (рис. 2) снабжена кипятильником и конденсатором.

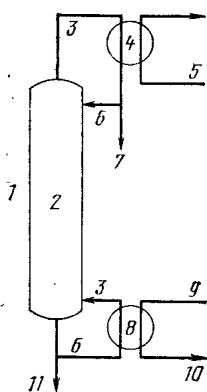


Рис. 2. Схема ректификационной колонны:

- 1 – сырье; 2 – колонна; 3 – пар; 4 – конденсатор; 5 – охлаждающая среда;
 6 – флегма; 7 – дистиллят; 8 – кипятильник; 9 – водяной пар;
 10 – водяной конденсат; 11 – кубовый продукт

Кипятильник подогревается водяным паром, а конденсатор охлаждается специальной системой, поддерживающей необходимую температуру конденсации. Прямым путем применение теплового насоса для сокращения энергозатрат ректификации является использование теплоты конденсации для замещения парового подогрева кипятильника (рис. 3). Следовательно, кипятильник становится конденсатором теплового насоса. Для снижения мощности компрессора требуется поддерживать возможно меньшую разницу температур между кипятильником и конденсатором, но при этом возрастают поверхность и стоимость теплообменников, так что ищется компромиссное решение.

Другим путем применения теплового насоса является использование продуктов колонны в качестве хладагента, если их свойства этому не препятствуют. Это исключает перепад температур в конденсаторе или кипятильнике, т.е. повышает коэффициент преобразования тепла. Схема колонны, продукт которой используется в качестве хладагента с обычным газовым компрессором, выполняющим функции теплового насоса, приведена на рис. 4.

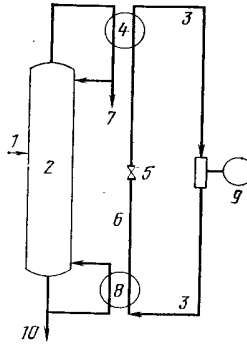


Рис. 3. – Ректификационная колонна с тепловым насосом замкнутого цикла (на специальном РТ):

- 1 – сырье; 2 – колонна; 3 – пар; 4 – испаритель; 5 – дроссель;
6 – жидкость; 7 – дистиллят; 8 – кипятильник-конденсатор;
9 – компрессор; 10 – кубовый продукт

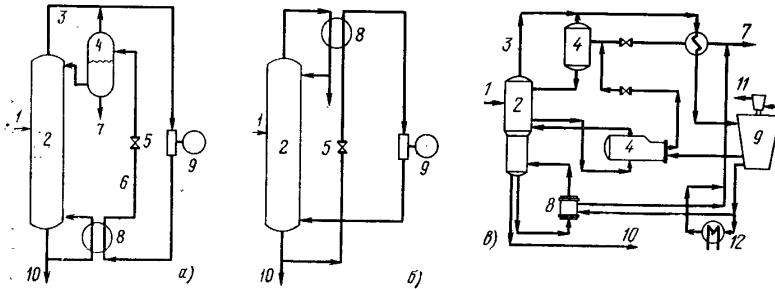


Рис. 4. Схемы теплового насоса на верхнем продукте (а), нижнем продукте (б) и открытого цикла с паротурбинным приводом (в):

- 1 – сырье; 2 – колонна; 3 – пар; 4 – бак; 5 – дроссель; 6 – жидкость;
7 – дистиллят; 8 – кипятильник-конденсатор; 9 – компрессор;
10 – кубовый продукт; 11 – турбина; 12 – регулировочный холодильник

Первоначальные оценки по результатам анализа литературных данных показали, что тепловой насос повышает стоимость колонны примерно на 10%, но дает экономию 25% энергии. При этом не требуется никаких изменений существующей технологии ректификации, нужно лишь повысить давление в колонне, чтобы уменьшить размеры компрессора [3]. Необходима тщательная проработка конструкции теплообменника, так как тепловой насос повышает температуру не более чем на

20 °С и требуется очень малая разность температур при теплообмене. При его расчете процесс сжатия считается адиабатическим. Тепло, выделяемое при сжатии газа, затрачивается на повышение температуры газа. Затем в теплообменнике внутренняя энергия газа уменьшается за счет отдачи теплоты конденсации газа и температура сконденсированных паров уменьшается до температуры конца конденсации. Выделившееся тепло конденсации расходуется на испарение кубовой жидкости. Этот процесс позволяет экономить водяной пар, используемый в кипятильниках. Что положительно сказывается на себестоимости произведенной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Химическая энциклопедия: Т. 3 / редкол.: Ю. А. Золотов [и др.]. М.: Большая Российская энциклопедия, 1992. С. 59, 63.
2. *Рей Д.* Тепловые насосы: пер. с англ. / Д. Рей, Д. Макмакл. М.: Энергоиздат, 1982. 224 с.
3. *Лебедев Н.Н.* Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза: Учеб. пособие для вузов. М.: Химия, 1988. 592 с.

ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ НА ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

И.М. Мамаризаев², Б.А. Алиматов¹, Х.М. Садуллаев²

Научный руководитель - **Б.А. Алиматов**, д-р техн. наук,
профессор

¹Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

²Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье приводится методика определения затрат энергии на перемешивание жидкостей различными методами и конкретными примерами доказано их практическое применение

Ключевые слова: пневматическое перемешивание, затраты энергии, пузырь, многоярусная лопастная мешалка, сопротивления трения, столба жидкости, газовый поток

ENERGY COSTS FOR MIXING LIQUIDS VARIOUS METHODS

I.M. Mamarizayev², B.A. Alimatov¹, X.M. Sadullayev²

Scientific Supervisor - **B.A. Alimatov**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

¹ V.G. Shukhov Belgorod State Technical University,

² Fergana Polytechnic Institute, Uzbekistan

The article provides a methodology for determining the energy costs for mixing liquids by various methods and specific examples prove their practical application.

Keywords: pneumatic mixing, energy costs, bubble, multi-tier paddle mixer, friction resistance, liquid column, gas flow

Работа при пневмоперемешивании несмешивающихся жидкостей производится за счёт энергии сжатого газа и может быть рассчитана, если принять, что количество энергии, передаваемой от перемешивающего газа жидкости, равно в первом приближении изотермической работе сжатия воздуха до давления на дне аппарата.

При подъёме газа вверх на высоту dH затрачивается работа

$$dA = F \cdot dH . \quad (1)$$

Сила гидравлического сопротивления среды F может быть принята равной подъёмной силе, выталкивающей пузырьки газа вверх:

$$F = n \cdot \pi \cdot d_3^2 \cdot (\rho_{жс} - \rho_z) / 6 , \quad (2)$$

где n - число газовых пузырьков;

d_3 - средний диаметр пузырьков, м;

$\rho_{жс}$, ρ_z - плотности жидкости и газа, кг/м³.

Учитывая, что $\rho_{жс} \gg \rho_z$ можно записать

$$F = Q \cdot \rho_{жс} , \quad (3)$$

где Q - объём всех пузырьков газа в аппарате, м³.

Объём газа в аппарате испытывает дополнительное гидростатическое давление столба жидкости, поэтому

$$Q = (P_a \cdot Q_a) / (P_a + H \cdot \rho_{жс}) , \quad (4)$$

где H - глубина погружения ввода газа в аппарат, м;

P_a - атмосферное давление над уровнем жидкости в аппарате, кг/м²;

Q_a - расход газа при атмосферном давлении, м³/с.

Сравнивая (3) и (4), получаем

$$dA = (P_a \cdot Q_a \cdot \rho_{жс}) / (P_a + H \cdot \rho_{жс}) \cdot dH . \quad (5)$$

Интегрирование этого выражения позволяет получить уравнение для определения полной работы газа, выпущенного в аппарате на глубине H :

$$A = P_a \cdot Q_a \cdot \ln \left[\frac{(P_a + H \cdot \rho_{жс})}{P_a} \right] \cdot dH . \quad (6)$$

Данное уравнение можно использовать для определения работы, затрачиваемой в единицу времени при прохождении газа через жидкость.

Газ, применяемый при перемешивании, следует подавать в аппарат под давлением, достаточным для преодоления сопротивления трения и гидростатического сопротивления столба жидкости. Для этого давления можно использовать уравнение

$$P = [w_r \cdot \rho_r \cdot (1 + \sum \xi / 2g)] + H \cdot \rho_{жс} , \quad (7)$$

где w_r - скорость газа, м/с;

$\sum \xi$ - сумма коэффициентов сопротивления.

Однако следует учитывать, что не вся работа, расходуемая на преодоление сопротивления среды, полезно используется на перемешивание жидкости; часть энергии газового потока теряется из-за скорости «скольжения», т.е. скорости движения пузырьков газа относительно жидкости.

Таким образом, работа перемешивания равна

$$A_{nep} = A - A_{ck}, \quad (8)$$

где A – полная работа, определяемая по уравнению (6);

A_{ck} – потеря энергии на скольжение.

Обычно A_{ck} составляет не более 15-20% величины полной работы. Как правило, при использовании барботажных экстракторов на практике система пневмоперемешивания организуется в замкнутом цикле: газодувка (компрессор)-ресивер-экстрактор-газодувка. В таком случае за полную энергию пневмоперемешивания можно принять энергию, потребляемую двигателем компрессора.

Мощность N (в кВт), потребляемая двигателем одноступенчатого компрессора, сжимающего G кг газа в 1 ч от начального давления p_1 до конечного давления p_2 можно рассчитать по формуле

$$N = (G \cdot L_{ad}) / 3600 \cdot 1000 \cdot \eta = G \cdot (i_2 - i_1) / 3600 \cdot 1000 \cdot \eta, \quad (9)$$

где L_{ad} - теоретическая величина работы, затрачиваемой при адиабатическом сжатии 1 кг газа, Дж/кг; $\eta = 0,7$ общий КПД компрессорной установки; i_2 и i_1 - начальная и конечная энтальпии (теплосодержание) газа, Дж/кг.

Величину работы L_{ad} можно определить по формуле

$$L_{ad} = [k / (k - 1)] \cdot p_1 \left[(p_2 / p_1)^{(k-1/k)} - 1 \right] = [k / (k - 1)] \cdot R \cdot T_1 \left[(p_2 / p_1)^{(k-1/k)} - 1 \right], \quad (10)$$

где k - показатель адиабаты, равный отношению c/c ; p_1 и p_2 – начальное и конечное давление газа, Па; v - удельный объём газа при начальных условиях, т.е. при давлении p_1 , и температуре T_1 , m^3/kg ; R – газовая постоянная, равная 8310/М; M - молярная масса газа.

В качестве примера возьмём барботажный экстрактор диаметром 1 м и высотой 10 м, а также аналогичных размеров экстрактор с механическим перемешиванием при помощи многоярусной лопастной мешалки.

Для барботажного экстрактора имеем

$$H_0 = 10 \text{ м}; \quad D_0 = 1 \text{ м}; \quad w_2 = 0,05 \text{ м/с};$$

$$G_2 = F \cdot w_2 = 0.785 \cdot 1^2 \cdot 0,05 = 0.039 \text{ м}^3 / \text{с} = 141.3 \text{ м}^3 / \text{час};$$

$K = 1.4$ - для воздуха (показатель адиабаты);

$$p_1 = 9.8 \cdot 10^4 \text{ Па}; \quad p_2 = 19.6 \cdot 10^4 \text{ Па}.$$

При этих условиях :

$$L_{ад} = [k / (k - 1)] \cdot p_1 \left[(p_2 / p_1)^{(k-1/k)} - 1 \right] = \frac{1.4}{1.4-1} \cdot 9.81 \cdot 10^4 \left(2^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1 \right) = 75460 \text{ Дж/м}^3.$$

$$N = \frac{141.3 \cdot 75460}{3600 \cdot 1000 \cdot 0.7} = 4.2 \text{ кВт}.$$

Для экстрактора с лопастными мешалками (колонна Шейбеля):

$$D_{ш} = 1 \text{ м}; \quad H = 10 \text{ м}; \quad z_m = 20 \text{ - количество мешалок по высоте колонны};$$

$$D_{ш} / 3 = 0.3 \text{ м};$$

$$w_m = 3 \text{ м/с - окружная скорость мешалки, откуда } n = 3,2 \text{ об/с}.$$

Мощность, потребляемую одной мешалкой, можно вычислить по формулам

$$N = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5; \quad K_N = c / \text{Re}_y^m; \quad \text{Re}_y = \rho \cdot n \cdot d^2 / \mu;$$

для лопастных мешалок: $c = 8,52$; $m = 0,2$.

При подстановке численных значений получаем

$$N_y = (1 \cdot 11,3) / 0,9 = 12,55 (N_{общ} + N_c) \eta = 0,85 \div 0,9 \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5.$$

$$\text{Re}_y = 1000 \cdot 3,2 \cdot 0,3^2 / 1 \cdot 10^{-3} = 288000.$$

$$K_N = 8,52 / 288000^{0,2} = 0,69.$$

$$N = 0,69 \cdot 1000 \cdot 3,2^3 \cdot 0,3^5 = 565,3 \text{ Вт};$$

или на 20 мешалок по высоте колонны $N_{общ} = 20 \cdot 565,3 = 11,3 \text{ кВт}$.

Мощность электродвигателя может быть рассчитана по формуле $K_y = (K \cdot N_{общ} + N_c) \eta$, где $K = 1,0 \div 2,0$ - коэффициент увеличения мощности в пусковой момент; $\eta = 0,85 \div 0,9$ - КПД привода.

Даже без учёта увеличения мощности в пусковой момент и потерь в сальнике, мощность на перемешивание лопастными мешалками составит

$$N_y = (1 \cdot 11,3) / 0,9 = 12,55 \text{ кВт},$$

что примерно в три раза больше мощности при пневмоперемешивании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ecological environment and its improvements in the fergana valley / X. Sadullaev [et al.] // Барқарорлик ва Етакчи Тадқиқотлар онлайн илмий журнали. 2021. Т. 1, № 5. С. 100-106.
2. Tojiev R.J. Determination of the angle of capture of the crushing chamber of a cone crusher, taking into account the kinematics of the rolling cone / R.J. Tojiev, X.M. Sadullaev //Scientific-technical journal. 2018. Т. 22, № 3. С. 55-60.
3. Экономия энергии в экстракционной установке с пневмоперемешиванием жидкостей / Б.А. Алиматов [и др.] // Вестник Белгородского гос. технол. ун-та им. ВГ Шухова. 2011. №. 4.

ОПТИМАЛЬНОЕ КОМПАУНДИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ ТОВАРНЫХ БЕНЗИНОВ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ВЫРУЧКИ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ

К.А. Марзаева, А.В. Тарасов, Г.В. Рыбина

Научный руководитель – **А.В. Тарасов**, д-р хим. наук, профессор;
Г.В. Рыбина, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается оптимальная рецептура смешения товарных бензинов с целью увеличения выпуска наиболее выгодного продукта.

Ключевые слова: бензин, рецептура смешения

OPTIMAL BLENDING OF COMMERCIAL GASOLINE COMPONENTS TO OBTAIN MAXIMUM REVENUE FROM SALES

K.A. Marzaeva, A.V. Tarasov, G.V. Rybina

Scientific Supervisor - **Tarasov A.V.**, Doctor of Chemical Sciences, Professor; **Rybina G.V.**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The optimal blending recipe of gasoline components is considered to increase output of the most profitable product.

Keywords: gasoline, blending recipe

В рамках изучения технологии и процессов переработки нефти, в частности организации выпуска предприятием товарных бензинов, важной задачей является расчет оптимальной рецептуры смешения заводских компонентов бензина. В качестве критерия оптимальности выступает в целом такой критерий, как максимальная прибыль от реализации полученной продукции с наложением целого ряда ограничений. В качестве подобных ограничений выступают ограничения общего плана, н-р

отсутствие нереализованных остатков компонентов товарных бензинов, соответствие всех показателей каждой марки продукции требованиям соответствующих стандартов, учет сезонности и изменений требований к различным показателям бензинов при изменении сезонности.

В ряде случаев программы расчета рецептуры смешения могут использоваться для определения узких мест или даже вероятностей рисков производства при изменении объема выпуска того или иного компонента бензина или при отклонении каких-либо показателей компонентов от обычного значения.

Подобный расчет безусловно реализован на каждом предприятии в том или ином программном продукте, в зависимости от сложности и возможностей производства. Однако в учебных целях для анализа важности для предприятия «правильного», т.е. наиболее выгодного компонования компонентов, а также для определения возможных направлений развития предприятия, выбора и строительства новых установок, определения чувствительности прибыли предприятия в зависимости от возможных изменений в ассортименте и качестве бензиновых компонентов силами студентов была разработана методика оптимального смешения бензиновых компонентов, реализованная в среде MS Excel. Идея создания подобного продукта была высказана при анализе заданий кейс чемпионата Case Champ от АО «Газпром-нефть МНПЗ». Один из кейсов, предложенный предприятием для студентов профильных вузов, назывался «Производство автомобильного бензина АИ 100 К5». Целью кейса было определение оптимальной рецептуры смешения имеющихся на предприятии компонентов с целью максимизации выпуска наиболее выгодного (маржинального) бензина с ОЧ 100, соответствующего требованиям стандарта. Необходимую для решения кейса исходную информацию предприятие предоставляло участникам по заявкам ВУЗов. По разработанной программе был проведен обсчет возможной рецептуры выпускаемых на МНПЗ бензинов. Результаты решения данного кейса студентами ЯГТУ и одной из других команд практически совпали, а представленный метод был удостоен предприятием награды за почетное второе место среди всех представленных на чемпионате решений, что говорит о достоверности полученных результатов. Показано, что решение задачи в целом не требует использования программных продуктов высокой сложности и вполне реализуется стандартными средствами MS Excel. Разработанный подход удобно использовать в учебном процессе для формирования у студентов необходимых кросс-дисциплинарных компетенций и расширения навыков экономических расчетов в процессах отрасли.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НА ТЕМПЕРАТУРУ МАТЕРИАЛА В БАРАБАННЫХ СУШИЛКАХ

Р.Х. Миршарипов, Х.А. Хакимов, И.И. Улмасов, А.А. Ахунбаев

Научный руководитель – **А.А. Ахунбаев**, канд. техн. наук, доцент

Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье исследуется влияние гидродинамических режимов на температуру высушиваемого минерального удобрения на выходе из барабанной сушилки. Из анализа существующих конструкций насадок, их рабочие параметры были проанализированы на основе многоступенчатого системного анализа на основе программы MATLAB, была разработана улучшенная расчетная схема двухкомпонентной насадки.

Ключевые слова: сушка минерального удобрения, сушильный барабан, двухкомпонентная насадка, производительность сушилки, угол наклона насадки, скорость теплоносителя, температура теплоносителя

EFFECTS OF HYDRODYNAMIC REGIMES] ON THE TEMPERATURE OF THE MATERIAL IN DRUM DRYERS

R.H. Mirsharipov, H.A. Khakimov, I.I. Ulmasov, A.A. Akhunbayev

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

Ferghana Polytechnic Institute, Uzbekistan

The article examines the influence of hydrodynamic regimes on the temperature of the dried mineral fertilizer at the outlet of the drum dryer. From the analysis of existing nozzle designs, their operating parameters were analyzed on the basis of a multi-stage system analysis based on the MATLAB program, an improved design scheme of a two-component nozzle was developed.

Keywords: drying of mineral fertilizer, drying drum, two-component nozzle, dryer performance, nozzle tilt angle, coolant velocity, coolant temperature

Сушка материалов - один из самых энергоемких процессов в технологической линии. Использование этого процесса важно для определения качества готового продукта. Стоимость термической сушки

составляет 10% от общей стоимости технологического процесса. В этом контексте актуально создание высокоэффективных, энергосберегающих режимов сушки, а также регулирование и оптимизация процессов теплообмена в сушилках.

Из литературных источников известно, что процесс сушки зависит от размера материала, влажности, гидродинамики движения материала и высушающего агента, параметров внутренней и внешней среды. Сочетание этих факторов определяет условия процесса сушки. Поэтому в промышленности используются различные методы и устройства в зависимости от физических, химических и механических свойств материала, подлежащего сушке.

Хотя простота, высокая эффективность и универсальность конструкции барабанных сушилок позволяют широко использовать их в различных отраслях народного хозяйства, есть такие вопросы, как повышение интенсивности процесса сушки, снижение гидравлического сопротивления в устройстве, рациональное использование обогревающего агента и минимизация энергопотребления, которые по-прежнему требуют исследований.

Для оценки влияния конструкции насадки на гидродинамические параметры аппарата и процессы теплообмена была разработана лабораторная барабанная сушилка и проведены эксперименты (рис. 1).

В экспериментах изучалось влияние скорости теплоносителя на температуру материала. Эксперименты проводились на лабораторной установке по определению кинетических кривых процесса сушки минеральных удобрений. Для проведения исследований выбраны следующие значения переменных параметров: производительность барабана $G_M = 0,18; 0,32; 0,46$ кг/с, скорость теплоносителя в барабане $v = 1,4 \div 14,2$ м/с и число оборотов барабана $n = 2,5; 3,0; 3,5; 4,0$ об/мин.

В эксперименте исходные параметры имели следующие значения. Начальная влажность увлажненных минеральных удобрений составляла 29%. Начальная температура теплоносителя, выходящего из нагревателя, была установлена на уровне 100 °С. Температура воздуха на входе и выходе из барабана измерялась прибором АНЕМОМЕТР ВА06–TROTEC.



Рис. 1. Общий вид барабанной сушилки

Начальную температуру материала измеряли термометром ТС-4. Температура, при которой высушиваемый материал поступает в барабан, составляла 21 °С. В качестве критериев оценки для проведения многофакторных экспериментов были приняты температура охлаждения удобрения (Y1), гранулированный состав материала (Y2) и гидравлическое сопротивление барабана (Y3).

Предполагая, что влияние факторов на критерии оценки будет полностью охватывать полином второй степени, эксперименты проводились на основе плана HARTLI-4.

Чтобы уменьшить влияние неконтролируемых факторов на критерии оценки, последовательность экспериментов была определена с использованием таблицы случайных чисел 1/17, и эксперименты были повторены пять раз по отдельности.

Были выбраны среднеарифметические значения экспериментальных результатов. Результаты экспериментов обрабатывались в соответствующем порядке, адекватно представляющие критерии оценки, были получены по программе уравнения регрессии HARTLI-4 программы «PLANEX», и построены графики зависимости переменных от критериев (рис. 2, 3).

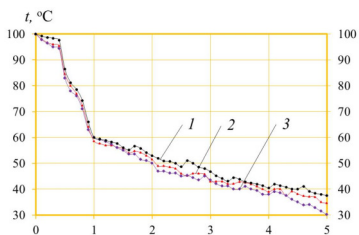


Рис. 2. Зависимость температуры удобрений от переменных факторов и зон барабана

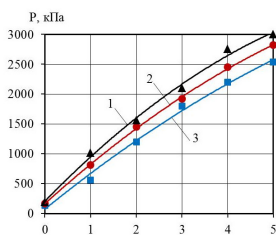


Рис. 3. Зависимость гидравлического сопротивления от переменных факторов и зон барабана

Температура охлаждения удобрения в устройстве определяется по следующему уравнению регрессии, °С:

$$Y_1 = +133.8952 + 35.563*X_1 + 0.000*X_2 + 154.300*X_3 + 18.2967*X_4 + 64.683*X_1X_1 + 45.287*X_1X_2 - 45.238*X_1X_3 - 44.679*X_1X_4 + 62.984*X_2X_2 - 22.7521*X_2X_3 - 19.629*X_2X_4 - 88.350*X_3X_3 + 45.196*X_3X_4 - 119.949*X_4X_4 \quad (1)$$

Гидравлическое сопротивление барабана определяется по следующему уравнению регрессии, кПа:

$$Y = + 1329.121 + 3555.5*X_1 + 3620.0*X_2 + 1541.13*X_3 + 1827.20*X_4 + 2556.7*X_1X_1 + 4520.2*X_1X_2 - 4521.8*X_1X_3 - 4457.8*X_1X_4 + 3879.9*X_2X_2 - 2274.50*X_2X_3 - 1937.3*X_2X_4 - 1728.1*X_3X_3 + 2117.0*X_3X_4 - 1088.21*X_4X_4 \quad (2)$$

Для определения факторов, влияющих на исследуемые процессы, на гидравлическое сопротивление устройства, оптимальные значения энергозатрат, уравнения регрессии решались отдельно по заданным критериям. В данном случае температура охлаждения удобрения была принята выше 30-40 °С, а гидравлическое сопротивление барабана составляло 3,4-4 кПа. Эта задача была решена на ПК «Pentium IV» с помощью программы Excel «Поиск решений», получены оптимальные значения переменных в закодированном виде и закодированные значения преобразованы в натуральные значения. Таким образом, оптимальные параметры значений определяемых критериев были стандартизированы и составили: производительность сушилки (X1) - 0,39 кг/с, угол наклона насадки (X2) - 35,6 градусов, скорость теплоносителя (X3) - 10,26 м/с и температура теплоносителя (X4) - 50,4 °С.

При данных значениях факторов температура охлаждения удобрения (Y1) - 36,5 °С, гранулометрический состав (Y2) - 10,4% менее 1 мм, 30,9% в пределах 1-3 мм, 43,6% в пределах 3-5 мм, 5-10 мм в пределах 11,4% и более 10 мм составило 3,7%, а гидравлическое сопротивление барабана (Y3) было принято равным - 2142 Па. Эти значения полностью удовлетворяют заданным технологическим параметрам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алтухов А.В.* Методология совершенствования и расчета барабанных сушильных агрегатов: автореф. дис. ... д-ра наук. Шымкент, 1999. 312 с.
2. *Романков П.Г.* Массообменные процессы химической технологии / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов. Л.: Химия, 1990. 388 с.
3. Анализ процесса сушки минеральных удобрений в барабанном аппарате Р.Ж. Тожиев, А.А. Ахунбаев, Р.Х. Миршарипов, М.М.К. Муллажонова, М.М.У. Йигиталиев // *Universum: технические науки.* 2021. № 8-1(89). С. 31-36.

ГИДРОДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА В СУШИЛЬНОМ БАРАБАНЕ

А.А. Муйдинов, Э.В. Корабоев, Ш.У. Джураев, А.А. Ахунбаев

Научный руководитель – **А.А. Ахунбаев**, канд. техн. наук, доцент

Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье проанализированы параметры движения материалов в сушильном барабане: степень распределения материала по поперечной поверхности аппарата, среднее время его пребывания в аппарате и степень загрузки. В качестве модельного материала в опытах использовали минеральное удобрение, произведенное в суперфосфатном цехе цеха АС-72 АО "Farg'onaazot".

Ключевые слова: сушильный барабан, степень распределения, среднее время пребывания, степень загрузки, длина падения, минеральное удобрение

HYDRODYNAMICS OF DISPERSED MATERIAL MOVEMENT IN THE DRYING DRUM

A.A. Muidinov, E.V. Koraboev, Sh.U. Juraev, A.A. Akhunbayev

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

Ferghana Polytechnic Institute, Uzbekistan

In the article, the parameters of the movement of materials in the drying drum were analyzed: material distribution degree over the transverse surface of the drier, the average time of its stay in the apparatus and the degree of loading. As a model material in the experiments, we used a mineral fertilizer produced in the superphosphate shop of the AS-72 shop at "Farg'onaazot" JSC.

Keywor: dryer drum, distribution degree, average residence time, load degree, fall length, mineral fertilizer

В химической и смежных отраслях промышленности процесс сушки является одним из наиболее энергоемких стадий технологических линий и в большинстве случаев определяет качественные показатели и внешний вид продукта, его физико-химические свойства.

Для моделирования процессов сушки исследователями были предложены различные модели. Процессы тепло- и массообмена можно интенсифицировать за счет улучшения условий контакта высушиваемого материала и теплоносителя. Для этого требуется распределительное устройство, позволяющее равномерно распределять материал по всей внутренней поверхности барабана.

Более полное использование энергии горячих газов может быть достигнуто за счет ускорения процессов тепломассообмена между газом и твердой фазой в сушильном барабане. Решение этой проблемы достигается за счет увеличения поверхности и времени контакта между газом и твердой фазой. Среди различных рассмотренных вариантов наиболее важными являются:

- обеспечить равномерное распределение материала по сечению барабана;

- повысить коэффициент заполнения барабана материалом;
- увеличить время нахождения в зоне сушки частиц материала.

Зная количество материала в насадке и распыляемого из насадки, очень важно при определении оптимального коэффициента загрузки устройства. Тот факт, что количество материала в барабане меньше оптимального значения, приводит к снижению его производительности. И наоборот, избыток материала приведет к образованию в аппарате слоя, не участвующего в процессе сушки, и перегрузит аппарат. Это приводит к снижению интенсивности процесса сушки и излишним энергозатратам.

Важным параметром, определяющим процесс сушки, является среднее время пребывания материала в аппарате. Первым, кто определил это время, были S.J. Friedman и W.P. Marshal. По результатам лабораторных исследований барабанной сушилки диаметром 0,203 м и длиной 1,2 м с использованием кварцевого песка гранулометрического состава 2÷10 мм предложили следующее эмпирическое уравнение для изменения времени пребывания материала в аппарате в зависимости от угла наклона барабана [1]:

$$\tau = \frac{0,294L_6}{D_6 n^{0,9} t g \alpha}. \quad (1)$$

На основании уравнения S.J. Friedmana и W.P. Marshala исследователь Арруда предложил уточненное уравнение [2].

$$\bar{\tau} = Lt \left(\frac{0.1962}{\alpha N_R^{0.9} D} \pm \frac{0.00036 G_f}{G_s d_p^{0.5}} \right), \quad (2)$$

где G_s – расход твердого вещества, кг/мин; G_f – расход газа, кг/мин; d_p – диаметр частицы, м; D – диаметр сушилки, м и Lt – ее длина, м.

Анализ данных уравнений показал, что время нахождения

материала в барабане обратно пропорционально изменению скорости вращения барабана.

Экспериментальные исследования проводились на полигоне кафедры и на сушильном барабане $\varnothing 2,4 \times 10$ метров в цехе производства суперфосфата АС-72 АО “Farg’onaazot”. Для определения наиболее целесообразной конструкции барабанных насадок были проведены исследования с L-образной плоской насадкой, параллельной оси вращения аппарата, трехсоставной насадкой под углом к оси вращения аппарата и U-образной насадкой, параллельной оси вращения барабана.

Пример определения степени заполнения материала барабана приведен на рис. 1, а полученные значения приведены в табл. 1.

Анализируя результаты этих исследований можно сделать вывод, что в данном случае по равномерности распределения материала, U-образная насадка показывает явное преимущество чем другие типы насадок, так как покрытие поверхности барабана распределением материала было более полным. В ходе опытов определяли среднее время пребывания минерального удобрения в лабораторной установке при различных значениях числа оборотов барабана и угла наклона барабана.



Рис. 1. Образец фото для определения степени заполнения поперечной поверхности барабана

Таблица 1

Диаметр барабана D , м	Число оборотов барабана об/мин	L-образная плоская насадка	Трехсоставная насадка	U-образная насадка
0,4	2,5	55	58	71
0,4	3,0	56	59	73
0,4	3,5	58	61	73
0,4	4,0	58	63	75
2,0	2,5	57	63	74
2,0	3,0	60	64	77

Среднее время пребывания продукта измеряли в лабораторной сушилке с помощью индикаторов (окрашенных частиц). В ходе опытов число оборотов барабана установили в диапазоне $n = 2,5-4,0$ об/мин, с шагом $0,5$ об/мин, а наклон барабана установили $\alpha=1^\circ$, $\alpha=2^\circ$ и $\alpha=3^\circ$ относительно горизонта. На рис. 2 показано сравнение между экспериментально полученным временем пребывания и временем пребывания, рассчитанным по уравнению (2).

Эти результаты согласуются с решениями уравнения (2). Отсюда мы видим, что увеличение времени нахождения материала в аппарате обратно пропорционально изменению угла наклона барабана.

Следующие эмпирические уравнения были получены из экспериментальных результатов с использованием метода наименьших квадратов.

$$y = 0,27x^2 - 3,037x + 11,582, \quad R^2 = 0,9947; \quad (3)$$

$$y = 0,22x^2 - 2,51x + 9,68, \quad R^2 = 0,9946; \quad (4)$$

$$y = 0,21x^2 - 2,283x + 8,4785, \quad R^2 = 0,9949. \quad (5)$$

Обобщая вышеизложенное, мы видим, что интенсификация сушки материалов в барабанной сушилке зависит от поверхности завесы материала, падающей из насадок барабанной сушилки. В свою очередь, обеспечение увеличения рассеивающей поверхности материала по сечению барабана будет зависеть от конструкции сушильных насадок.

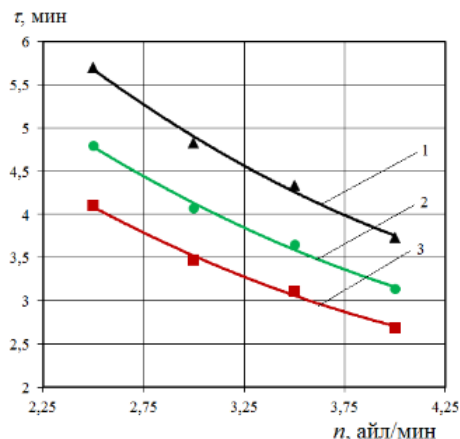


Рис. 2. Зависимость среднего времени пребывания материала в аппарате от числа оборотов барабана:

1 - при угле наклона барабана $\alpha=1^\circ$; 2 - при $\alpha=2^\circ$; 3 - при $\alpha=3^\circ$

Необходимо учитывать, что на значение коэффициента заполнения материала влияют угол наклона барабана, скорость его вращения и скорость сушильного агента.

Приведенные выше уравнения можно использовать для определения времени пребывания высушиваемого материала в аппарате и на этой основе для расчета общего процесса сушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Friedman S.J.* Studies in rotary drying / S.J. Friedman, W.R. Marshall // Chem. Eng. Progr. 1949. V. 45, №9. P. 573-588.
2. *Arruda, Edu Barbosa.* Comparação do desempenho do secador roto-fluidizado com o secador rotatório convencional: secagem de fertilizantes. 2008. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharias). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.
3. *Perry R.H.* Chemical Engineers Handbook / R.H. Perry, D.W. Green. McGraw-Hill, New York, 1999.

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО БАРБОТАЖНОГО ЭКСТРАКТОРА

А.А. Муйдинов², Б.А. Алиматов¹, Х.М. Садуллаев²

Научный руководитель - **Б.А. Алиматов**, д-р техн. наук,
профессор

¹Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

²Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье описывается конструкция и принцип работы экстрактора, исключающего взаимный унос жидкостей в смежные секции. Приведены результаты промышленных испытаний и основные параметры предлагаемой конструкции.

Ключевые слова: взаимный унос, эффективность, смесь жидкостей, сплошной слой, волокнистый материал, коалесценция, смежные секции, поток, перегородка

NEW DESIGN OF MULTISTAGE BUBBLING EXTRACTOR

A.A. Muydinov², B.A. Alimatov¹, X.M. Sadullaev²

Scientific Supervisor - **B.A. Alimatov**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

¹V.G. Shukhova Belgorod State Technological University

²Fergana Polytechnic Institute, Uzbekistan

The article describes the design and operation of the extractor, which excludes the mutual entrainment of liquids in adjacent sections. The results of industrial tests and the main parameters of the proposed design are given.

Keywords: entrainment, efficiency, mixture of liquids, continuous layer, fibrous material, coalescence, adjacent sections, flow, baffle

Одним из существенных недостатков экстракторов смесительно-отстойного типа является взаимный унос жидкостей в смежные ступени, что значительно снижает эффективность процесса экстракции.

Нами разработана конструкция смесительно-отстойного барботажного экстрактора, в котором практически исключен межступенчатый унос жидкостей.

Устройство и принцип работы экстрактора представлены на рис. 1.

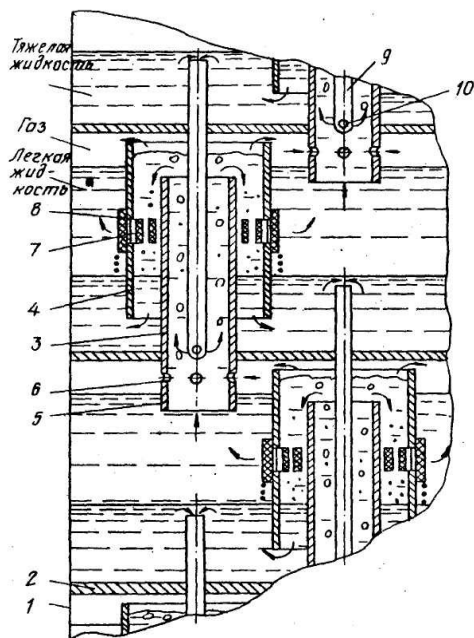


Рис. 1. Барботажный экстрактор без взаимного уноса жидкостей в смежные ступени

Полученная смесь жидкостей движется далее сверху вниз по кольцевому каналу между патрубками 3 и 4, где относительно крупные капли тяжелой жидкости за счет гравитационных и инерционных сил оседают в сплошной слой тяжелой жидкости. Верхний срез трубок 9 располагается выше нижнего среза патрубка 4, чем обеспечивается выход легкой жидкости с мелкими каплями тяжелой жидкости из смесительного устройства только через отверстия 7 в патрубке 4. Перекрывание же отверстий 7 слоем волокнистого материала 8, хорошо смачиваемого легкой жидкостью, способствует образованию в слое волокнистого материала более крупных капель тяжелой жидкости за счет коалесценции. Выйдя из слоя волокнистого материала, укрупненные капли тяжелой жидкости легко оседают в пространстве между смесительными устройствами секции.

Таким образом, в предлагаемом барботажном экстракторе целиком исключается взаимный унос жидкостей в смежные секции:

- выход легкой и основной массы тяжелой жидкостей из смесительного устройства отдельными потоками, а также прохождение легкой жидкости сквозь слой волокнистого материала (своего рода фильтр) исключает унос капель тяжелой жидкости в вышележащую секцию потоком легкой жидкости;

- унос легкой жидкости в нижележащую секцию также отсутствует, т.к. тяжелая жидкость поступает в отстойную часть секции (и далее в трубки 9) через зазор между перегородкой 2 и патрубком 4, т.е. из самых нижних слоев отстоявшейся между патрубками 3 и 4 тяжелой жидкости.

Испытание модели барботажного экстрактора осуществлено нами на промышленных средах процесса регенерации уксусной кислоты в производстве триацетилцеллюлозы, когда уксусная кислота (концентрацией 20-25%) извлекается этилацетатом из водного раствора.

В промышленной практике Ферганского производственного объединения «Азот» данный технологический процесс осуществляется в экстракторах с ситчатыми тарелками. Значительный унос (7-8% и более) водной фазы потоком эфирыкислоты из верхней части экстрактора приводит к снижению качества эфирыкислоты, а это в свою очередь приводит к перерасходу энергоресурсов и полуфабрикатов на других стадиях технологического процесса. При этом суммарная удельная нагрузка по жидкостям на один экстрактор составляет всего 19-19,2 м/м·час, т.е. около 82% от проектной.

Соотношение расходов подаваемых в экстрактор легкой и тяжелой жидкостей (этилацетат: водный раствор уксусной кислоты) поддерживается в пределах 2,5:1, чем обеспечиваются условия для дробления тяжелой жидкости, а это является наиболее благоприятным для использования предлагаемого нами барботажного экстрактора в данном технологическом процессе.

Модель барботажного экстрактора имела следующие параметры: высота секции (ступени экстракции) - 400 мм; диаметр внутреннего патрубка смесительного устройства - 33 мм; диаметр наружного патрубка смесительного устройства - 50 мм; внутренний диаметр секции - 104 мм. В качестве волокнистого материала нами использовался слой стекловолокна, покрытый сверху для механической прочности сеткой из нержавеющей стали.

Расход этилацетата составлял 0,08-0,24 м³/с, расход водного раствора уксусной кислоты составлял 0,03-0,09 м³/с; максимальная суммарная удельная нагрузка при этом составляла 30,5 м/м·ч. В качестве инертного газа применялся азот, удельный расход которого не превышал 1-1,2 м³ на 1 м³ перерабатываемых жидкостей.

В результате экспериментальных исследований нами установлено

полное отсутствие водной фазы в растворе эфинокислоты, что свидетельствует о перспективности использования барботажного экстрактора на стадии регенерации уксусной кислоты в производстве триацетилцеллюлозы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. № 1152609 СССР. Барботажный экстрактор / Алиматов Б.А., Садуллаев Х.М. [и др]; опубл. БИ №16, 1985.
2. Разработка конструкции и исследование барботажных экстракторов: оконч. отчет по гос. науч.-техн. программе Р.Уз. / Б.А. Алиматов, Х.М. Садуллаев [и др.]. Гос.рег. №01.97.0006105. Инв. №0299.0006000. Ташкент, ГФНТИ., 1999.
3. Барботажный экстрактор без взаимного уноса жидкостей в смежные ступени / Б.А. Алиматов, Х.М. Садуллаев [и др.] // Сб. науч. тр. Междунар. акад. экологии. СПб., 2002. Вып. 5. С.119-123.
4. *Алиматов Б.А.* Барботажный экстрактор без взаимного уноса жидкостей в смежные ступени / Б.А. Алиматов, Х.М. Садуллаев // Науч.-техн. журн. Ферган. политехн. института. 2001. № С.62-64.
5. Ecological environment and its improvements in the fergana valley / X. Sadullaev [et al.] // Барқарорлик ва Етақчи Тадқиқотлар онлайн илмий журналі. 2021. Т. 1, №. 5. С. 100-106.

УДОБРЕНИЕ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ

А.В. Назаров, А.А. Липин

Научный руководитель – **А.А. Липин**, канд. техн. наук, доцент

Ивановский государственный химико-технологический университет

Получено удобрение пролонгированного действия путем заключения гранулированной аммиачной селитры в оболочку из пленкообразующего полимерного материала. Установлено, что продолжительность выделения аммиачной селитры из капсулированных гранул зависит от материала оболочки и толщины слоя покрытия.

Ключевые слова: удобрения пролонгированного действия, капсулирование, аммиачная селитра, псевдооживленный слой

CONTROLLED RELEASE FERTILIZER BASED ON AMMONIUM NITRATE

A.V. Nazarov, A.A. Lipin

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

Ivanovo State University of Chemistry and Technology

The results of experimental studies of diffusion permeability of materials used for film coatings of controlled-release fertilizers are presented. The effect of the film thickness and fertilizer type on permeability coefficient was determined.

Keywords: controlled release fertilizer (CRF), coating, ammonium nitrate, fluidized bed

Удобрения пролонгированного действия – перспективный и востребованный агрохимический продукт, производство которого направлено на решение ряда важнейших практических задач сельского хозяйства: снижение потерь питательных элементов, уменьшение стоимости и энергоёмкости мероприятий по транспортировке, хранению и внесению удобрений, повышение эффективности их действия и сохранение окружающей среды [1]. Принцип действия пролонгированных удобрений ос-

нован на постепенном растворении гранулы и высвобождении питательных веществ в количестве, необходимом растениям. Удобрения с пролонгированным выделением питательных веществ классифицируются на капсулированные и матричного типа. Капсулированные удобрения получают путем заключения частиц обычных промышленных удобрений в оболочку из пленкообразующего материала. Эффект пролонгированного действия определяется, прежде всего, свойствами материала оболочки и её толщиной [2].

В данной работе капсулирование гранул аммиачной селитры осуществлялось методом распыления полимерной эмульсии посредством пневматической форсунки на псевдооживленный слой гранул. Схема лабораторной установки для проведения процесса капсулирования представлена на рис. 1.

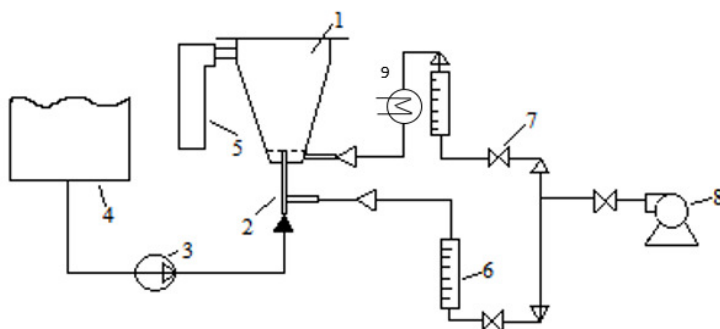


Рис 1. Схема установки для капсулирования гранул аммиачной селитры в аппарате с псевдооживленным слоем:

1 – аппарат кипящего слоя; 2 – форсунка; 3 – насос; 4 – ёмкость с полимерной эмульсией; 5 – рукавный фильтр; 6 – ротаметр; 7 – вентиль; 8 – газодувка; 9 – калорифер

Капсулянт – водно-полимерная эмульсия подавался из ёмкости 4 посредством перистальтического насоса 3 в пневматическую форсунку 2. Капсулирование осуществлялось в аппарате фонтанирующего слоя 1. Подача воздуха на форсунку и под решетку аппарата 1 осуществлялась от газодувки 8. Подача регулировалась вентилями 7 и контролировалась по ротаметрам 6. Нагрев воздуха на псевдооживление осуществлялся в калорифере 9. По завершении процесса капсулирования гранулы охлаждались и выгружались из аппарата. Выходящий из аппарата 1 воздух очищался в рукавном фильтре 5.

В опытах по капсулированию варьировали величину относительной массы оболочки, т.е. отношение массы оболочки к массе непокрытой гранулы. Она составляла 10, 20 и 30% мас. В качестве материалов обо-

лочки использовали водные дисперсии акриловых и стиролакриловых полимеров: Ларус и Primal. Эффект пролонгированного действия полученных удобрений определяли путем исследования кинетики выделения аммиачной селитры из капсулированных гранул в воде.

Кривые на рис. 2 иллюстрируют влияние относительной массы оболочки на кинетику выделения аммиачной селитры. Материал оболочки в этих опытах – полимерная пленка, образованная дисперсией Ларус. Увеличение относительной массы оболочки, а, следовательно, её толщины приводит к уменьшению скорости выделения. Покрытие с относительной массой $\varphi = 10\%$ может обеспечить выделение аммиачной селитры в течение двух недель, а с $\varphi = 30\%$ в течение нескольких месяцев.

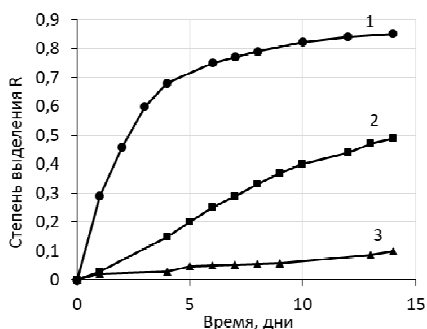


Рис. 2. Влияние толщины оболочки на кинетику выделения аммиачной селитры из капсулированных гранул.

Относительная масса оболочки:

1 – 10%; 2 – 20%; 3 – 30 %

Гранулы, покрытые оболочкой из эмульсии Ларус, показали большее время выделения по сравнению с гранулами, покрытыми Primal, при одинаковой толщине оболочек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухина М.Т. Удобрения пролонгированного действия: основные этапы и направления развития / М.Т. Мухина, Р.А. Боровик, А.А. Коршунов // Плодородие. 2021. № 4(121). С. 77-82.
2. Липин А.Г. Капсулирование гранул в полимерные оболочки как метод создания минеральных удобрений с регулируемой скоростью высвобождения питательных веществ / А.Г. Липин, В.О. Небукин, А.А. Липин // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2017. №3(51). С. 86-91.

О КОЭФФИЦИЕНТЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АППАРАТОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СИЛЫ

**А.В. Титова, А.М. Глазунова, Е.Р. Швайковская,
В.К. Леонтьев**

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

Ярославский государственный технический университет

Получен коэффициент эффективности аппаратов для разделения неоднородных систем с использованием центробежной силы, который учитывает геометрические и режимные параметры работы аппаратов.

***Ключевые слова:** коэффициент эффективности, центробежная сила, центрифуги, циклоны, степень очистки, фактор разделения, удельная вводимая мощность, время пребывания*

ON EFFICIENCY FACTOR OF APPARATUSES FOR SEPARATION OF HETEROGENOUS SYSTEMS WITH THE HELP OF CENTRIFUGAL FORCE

A.V. Titova, A.M. Glazunova, E.R. Schvaykovskaya, V.K. Leontev

Scientific Supervisor - **V.K. Leontev**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University, Russia, Yaroslavl

We obtained the efficiency factor of apparatuses for separation of heterogeneous systems using centrifugal force, which takes into account geometry and operation parameters of apparatuses' work.

***Keywords:** efficiency factor, centrifugal force, centrifuges, cyclones, extent of purification, separation factor, specific input power, stay period*

Перерабатываемые в промышленности потоки жидкости и газов содержат, как правило, взвешенные в них твердые или жидкие частицы. Эти частицы необходимо удалять с целью подготовки неоднородной системы для последующих стадий переработки или для извлечения ценных веществ, а также перед сбросом в атмосферу [1].

Была предпринята попытка получить коэффициент, который позволял бы сравнивать различные типы аппаратов, в которых для разделения неоднородных систем использовалась центробежная сила. К таким аппаратам относятся циклоны, гидроциклоны, центрифуги. На данный момент для сравнения различных конструкций таких аппаратов используется степень очистки. Хотелось бы, чтобы коэффициент эффективности включал геометрические и режимные параметры, а также свойства сред, входящих в неоднородную систему. На рис. 1 представлена схема разделения суспензии в центрифуге.

Барабан 2 вращается с большой угловой скоростью ω . При подаче в барабан суспензии образуется кольцевой слой, толщина которого равна ширине закраин барабана. Под действием центробежной силы происходит осаждение частиц на стенках барабана (осадок), а осветленная жидкость (фугат) переливается через закраины и выводится из корпуса через нижний штуцер. В центрифугах периодического действия после достижения необходимой толщины слоя осадка подача суспензии прекращается и осуществляется его выгрузка. В центрифугах непрерывного действия подача суспензии и выгрузка осадка осуществляется постоянно.

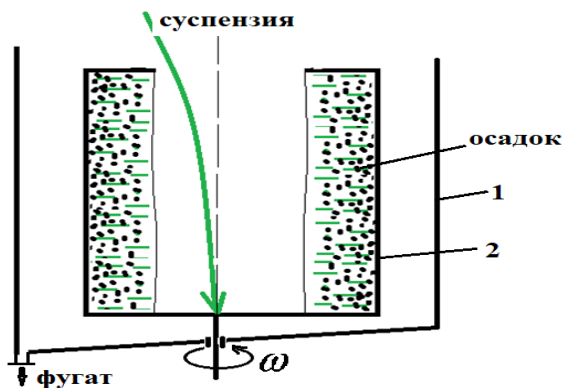


Рис. 1. Схема разделения суспензии в центрифуге:
1 – корпус; 2 – барабан

Основные факторы, которые могут быть учтены при анализе:

1. Степень очистки (коэффициент полезного действия) выражается отношением количества уловленного материала, к количеству материала, поступающего в аппарат за определенный период времени. Эффективность очистки определяется по формуле

$$\eta = \frac{M_{\text{вх}} - M_{\text{вых}}}{M_{\text{вх}}} \cdot 100\% = \frac{M_{\text{ул}}}{M_{\text{вх}}} \cdot 100\%,$$

где $M_{\text{вх}}$ – масса частиц на входе в аппарат, кг; $M_{\text{вых}}$ – масса частиц на выходе из аппарата, кг; $M_{\text{ул}}$ – масса уловленных частиц кг.

2. Основной движущей силой процесса является центробежная сила, поэтому в коэффициент эффективности должен входить фактор разделения. Разделительная способность аппаратов центробежного типа характеризуется **фактором разделения** $K_{\text{ц}}$, который представляет собой отношение центробежной силы $F_{\text{ц}}$, действующей на частицу массой m при ее вращении с угловой скоростью ω , к силе тяжести G и является модифицированным числом Фруда:

$$K_{\text{ц}} = \frac{\omega^2 r}{g},$$

где ω – угловая скорость вращения барабана, с^{-1} ; r – радиус аппарата, м.

3. Важнейшим параметром при оценке эффективности аппаратов для разделения неоднородных систем с использованием центробежной силы является удельная вводимая мощность a , т. е. вводимая мощность, приходящаяся, на единицу производительности:

$$a = \frac{N_{\text{в}}}{Q},$$

где $N_{\text{в}}$ – вводимая мощность, Вт; Q – производительность аппарата по неоднородной системе, $\text{м}^3/\text{с}$.

4. Следующий режимный параметр, который также учитывался нами при анализе – время пребывания потока неоднородной системы в аппарате $\tau_{\text{пр}}$:

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{ан}}}{Q},$$

где $V_{\text{ан}}$ – объем аппарата, м^3 .

На основе анализа размерностей получено выражение для расчета коэффициента эффективности аппаратов для разделения неоднородных систем с использованием $K_{\text{ц}}$ центробежной силы:

$$K_{\text{э}} = \frac{\eta \cdot K_{\text{ц}} \cdot Q \cdot \mu \cdot \rho}{N_{\text{в}} \cdot \tau_{\text{пр}} \cdot \rho_{\text{ч}}},$$

где μ – динамический коэффициент вязкости, Па с; ρ – плотность среды, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частиц, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Выполнен расчет коэффициента эффективности для осадительной центрифуги со шнековой выгрузкой осадка ОГШ-50 и осадительной горизонтальной центрифуги с ножевым удалением осадка ОГН-903К-02.

В качестве среды для процесса центрифугирования выбран сахарный уфель. Основные режимные параметры и физические свойства процесса: производительность по суспензии $Q = 10$, $1 \text{ м}^3/\text{ч}$; плотность твердой фазы (сахарозы) $\rho_s = 1560 \text{ кг/м}^3$; плотность жидкости $\rho = 1350 \text{ кг/м}^3$; динамический коэффициент вязкости жидкости $\mu = 0,3 \text{ Па с}$; размер частиц в исходной суспензии $0,1-1,0 \text{ мм}$ [2].

Геометрические размеры центрифуги ОГШ-50: радиус ротора $R = 0,25 \text{ м}$; радиус шнека $r = 0,125 \text{ м}$; длина цилиндрической части ротора $L = 0,80 \text{ м}$; угловая скорость ротора $\omega = 120 \text{ с}^{-1}$.

Геометрические размеры центрифуги ОГН-903К-02: диаметр ротора 900 мм ; частота вращения 1730 об/мин ; фактор разделения 1508 ; мощность 30 кВт ; емкость ротора 145 дм^3 [3].

Коэффициент эффективности для осадительной центрифуги со шнековой выгрузкой осадка ОГШ-50 составил $K_s = 0,131 \cdot 10^{-6}$, а для осадительной горизонтальной центрифуги с ножевым удалением осадка ОГН-903К-02 $K_s = 0,73 \cdot 10^{-6}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скобло А.И. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / А.И. Скобло, И.А. Трегубова, Ю.К. Молоканов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1982. 584 с.
2. Семенов Е.В. К расчету процесса разделения суспензии в роторе осадительной центрифуги со шнековой выгрузкой осадка / Е.В. Семенов, И.А. Никитин, С.Н. Чеботарев, В.А. Ирха // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2021. №8. С. 3-6.
3. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. 2-е изд., перераб. и доп. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. 852 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ СУШИЛЬНОГО БАРАБАНА

**Р.Ж. Тожиев, Р.Х. Миршарипов, Н.Р. Ражабова,
М.М. Муллажонова**

Научный руководитель – **Р.Ж. Тожиев**, д-р техн. наук, профессор

Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье анализируется процесс производства суперфосфатных минеральных удобрений, проблемы и конструкция применяемого оборудования. На основе анализа предложена усовершенствованная конструктивная схема двухэлементной насадки барабанной сушилки. Предлагаемое сопло было систематически проанализировано с аналогичными конструкциями, и было изучено влияние на процесс теплообмена в барабанной сушилке.

Ключевые слова: насадка, системный анализ, барабанная сушилка, суперфосфат, поверхность теплообмена

OPTIMIZATION OF THE EXISTING DRYER DESIGN

R.J. Tojiyev, R.H. Mirsharipov, N.R. Rajabova, M.M. Mullajonova

Scientific Supervisor - **R.J. Tojiyev**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Ferghana politechnical institute, Uzbekistan

The article analyzes the production process of superphosphate mineral fertilizers, problems and design of the equipment used. On the basis of the analysis, an improved design scheme of a two-element drum dryer packing is proposed. The proposed nozzle was systematically analyzed with similar designs, and the effect on the heat transfer process in the drum dryer was studied.

Keywords: packing, system analysis, drum dryer, superphosphate, heat exchange surface

В настоящее время растет потребность качественной сушки продуктов в химической, пищевой, сельскохозяйственной и других отраслях промышленности. Одна из основных причин этого заключается в том, что качество продукта зависит от исходной влажности. Поэтому важно

изучить возможность энергоэффективного сочетания конвективной, инфракрасной и микроволновой энергии в процессе сушки, выбрать оптимальные варианты реализации и конструкции, и на этой основе обеспечить экспортное качество продукции. В частности, сушка является одним из основных процессов при производстве минеральных удобрений, и от этого процесса зависит зернистость, качество и экспортные свойства удобрений [1-4 и др.]. Поэтому, важно проводить исследования в данной области.

На основании изложенного были проанализированы существующие проблемы процесса производства суперфосфатных минеральных удобрений цеха АС-72М АО «Ферганаазот», одного из крупнейших химических предприятий Республики Узбекистан. На рис. 1 представлена технологическая схема производства суперфосфатных минеральных удобрений.

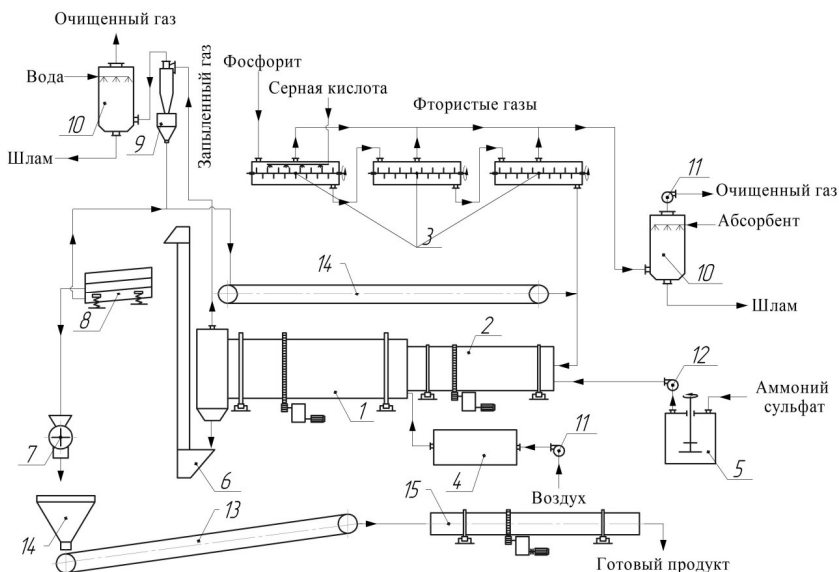


Рис. 1. Технологическая схема производства суперфосфата.

Аналитические методы исследования:

- 1 - барабанный сушильный аппарат; 2 - барабанный гранулятор;
- 3 - горизонтальный смешивательный реактор; 4 - калорифер; 5 - вертикальный смешивательный реактор; 6 - ковшовый элеватор; 7 - молотковая дробилка; 8 - сито; 9 - циклон НИОГАЗ; 10 - полый скруббер; 11 - вентилятор; 12 - центробежный насос;
- 13 - ленточный конвейер; 14 - бункер питатель; 15 - барабанный охладитель

Известно, что процесс производства суперфосфатных удобрений на АО “Farg’onaazot” включает: смешение мелочи фосфорита с серной кислотой в реакционном сосуде, гранулирование смеси с распылением сульфата аммония, сушка гранулированных удобрений, разделение на гранулометрические составляющие согласно регламенту и упаковка готовых продуктов [6]. Разработанная технологическая схема считается энергетически эффективной, по сравнению с существующими классически линиями такого типа. К сожалению, качество и экспорт производимых продуктов не отвечает нынешним требованиям. С целью определения исследуемой проблемы проведен системный анализ в две стадии.

Результаты аналитического исследования

На первой стадии был определен гранулометрический состав произведенного минерального удобрения и измерены температура и влажность материала. При проведении экспериментов использовались рекомендованные стандартные методики. По данной методике, удобрение просеивалось в 5-ступенчатой лабораторной установке СМЦ-25 в течение 10 минут. Размеры ячейки сита были 1; 3; 5 и 10 мм. На основании полученных результатов удобрение было разделено на фракции в процентном отношении [5].

Температура удобрения, поступающего в барабан, составляла 100 °С, а его влажность 26,4%. При выходе из сушильного барабана температура составила 70 °С при влажности 14,39%. Полученные результаты показывают, что линия производства удобрения не соответствует заданным регламентом требованиям (гранулометрический состав удобрения по технологическому регламенту 3÷5 мм, влажность не превышает 10% и температура готового продукта в интервале 35÷40 °С). Кроме того, при размерах частиц удобрения менее 3 мм требуется их повторное гранулирование с целью укрупнения гранул, а для удобрений с частицами более 5 мм – их измельчение. Это, в свою очередь, увеличивает количество энергии, потребляемой в процессе.

Возникновение этого состояния связано с процессами теплообмена в сушилке, что обусловлено переходом гранулированного удобрения в сушилку и отсутствием там достаточного контакта с тепловым агентом.

Корпус барабанного сушилки в процессе изготовления оснащен стандартной Г-образной насадкой [6-8 и др.], конструкция этого типа плохо адаптирована к распределению и при выборе ее не учитывались физические свойства производимого удобрения. На рис. 2 представлена схема оснащения Г-образной насадки, что наглядно показывает схему распределения высушиваемого материала по поперечному сечению барабана, где существует зона «А», не закрытая завесой падающего материала.

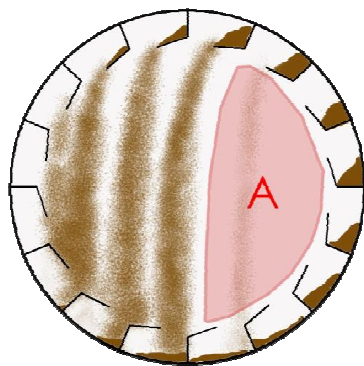


Рис. 2. Схема открытых и закрытых зон поперечного сечения сушилки оснащенного Г-образными насадками

Как видно из рис. 2, теплоноситель проходит через зону с наименьшим сопротивлением, то есть через зону «А». Это приводит к следующим негативным последствиям:

- увеличение зоны «А» в сушилке снижает полное и эффективное использование теплоносителя. Это приводит к снижению интенсивности теплообмена между теплоносителем и высушиваемым материалом, снижению скорости процесса сушки;

- скорость потока теплоносителя увеличивается из-за наличия зоны «А» в поперечном сечении сушилки. В свою очередь, за счет увеличения скорости потока происходит унос мелких частиц потоком теплоносителя;

- увеличение зоны «А» в сушилке вызывает повышение температуры отходящих газов из барабана и снижение энергетической эффективности процесса сушки.

Опыт работы барабанных аппаратов показывает, что изменение угла наклона по линии барабанной оси стандартных насадок на сушильном барабане не обеспечивает существенного увеличения площади, покрываемой высыпавшим материалом. Если насадка установлена по линии барабана, площадь полосы будет максимальной, но она не будет достаточной. Справа и слева от поверхности барабана образуются открытые зоны "А". Наряду с другими техническими мероприятиями, предназначенными для расширения площади, покрываемой высыпавшим материалом, используются шахматный порядок насадок и гребневая кромка насадки. Однако сечение барабана остается открытым на 30-40% поверхности. Оптимальным решением уменьшения открытой зоны "А" в сушилке является выбор подходящей для процесса насадки и совершенствование ее конструкции. В настоящее время в этом направлении ведется большая

научно-исследовательская работа, в качестве перспективного варианта представлены двухчастные насадочные конструкции.

На основании этого была разработана, улучшенная схема конструкции насадки. На рис. 3 представлена схема установки насадки на барабан.

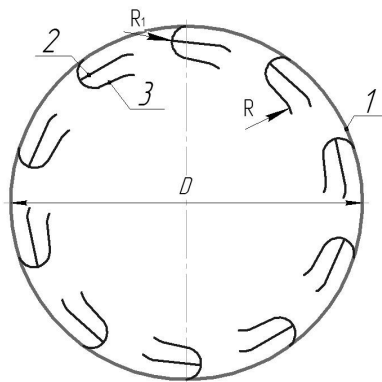


Рис. 3. Схема установки предлагаемой насадки на барабан

1 - барабанный корпус; Первая часть 2-го сопла; Вторая часть 3-го сопла

Преимущество форсунки перед существующими конструкциями состоит, прежде всего, в том, что ее выливающаяся часть материала образует определенный уклон, что обеспечивает резкое сокращение открытых зон «А» в сушилке. Во-вторых, детали установлены на полукруглой конструкции, что предотвращает застревание материала в насадке.

Для испытания предложенной насадки в реальных производственных условиях, оценки ее воздействия на открытую зону «А» была разработана конструкция насадки и установлен цех АС-72М АО «Ферганаазот» на барабанную сушилку при производстве суперфосфатных минеральных удобрений.

Для оценки влияния насадки на открытые зоны "А" в сушилке были получены и проанализированы фотографии. По результатам анализа площадь разбросанного материала по сечению поверхности барабана, составила $5,9 \text{ м}^2$, а открытая зона «А» - $0,5 \text{ м}^2$. Результаты сравнивали с существующими конструкциями. Для полного сравнения параметров и снижения ошибки результатов был использован многофакторный системный анализ [9]. Систематический анализ проводился в следующей последовательности.

На первом начальном иерархическом уровне проанализированы барабанные сушилки и насадки различных конструкций, применяемые

при сушке минерального суперфосфата. Определены входные и выходные параметры системы.

Во втором иерархическом уровне были замечены элементы для передачи горячего воздуха и сырья, тепловая и зона обмена веществ, а также элементы для выпуска использованного горячего воздуха и сырья. Будут определены параметры ввода и вывода каждой вспомогательной системы.

На третьем иерархическом уровне наблюдалось взаимодействие фаз, общий рабочий объем сушилки и объем сушилки, заполненный насадкой. Будут определены параметры ввода и вывода.

На четвертом иерархическом уровне наблюдались потоки фаз, общие контактные поверхности фаз, наличие неработающих зон и время нахождения в аппарате. Будут определены параметры ввода и вывода.

При расчете многоступенчатого анализа и параметров в рабочей зоне барабанной сушилки использована программа MATLAB.

Для оценки влияния конструкций насадок на взаимный теплообмен и выбор оптимальной конструкции в ходе исследования с использованием результатов анализа исследовано влияние сушильного агента на температуру продукции по зонам насадки (в существующем производстве насадочные зоны были размещены шахматным способом и состояли из пяти рядов) и построен сравнительный график (рис. 4).

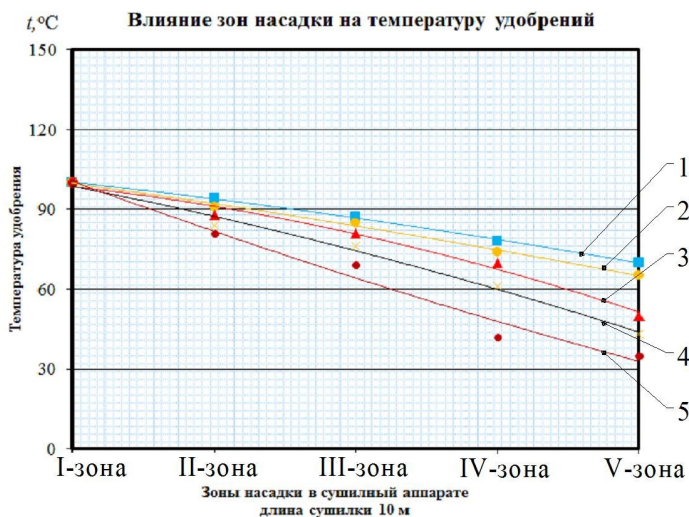


Рис. 4. График изменения температуры в зависимости от типа насадки
1 - Г образная насадка; 2 - подъемная лопастная насадка; 3 - секторная насадка;
4 - X образная насадка; 5 - Предлагаемая двухкомпонентная насадка

Из графических зависимостей на рис. 4 видно, что температура выхода удобрения из сушилки на Г-образной насадке составляла 70 °С, 65,1 °С на подъемной лопастной насадке, 50 °С в секторной насадке, 43 °С в иксобразной насадке и 35 °С в предлагаемой насадке, состоящей из двух частей. Это можно объяснить тем, что в процессе работы увеличение или уменьшение завесы материала на режущей поверхности барабана зависит от конструкции насадки. Это, в свою очередь, оказывает значительное влияние на температуру удобрения. По мере прохождения зоны насадки влажность материала переходит к сушильному агенту, его температура снижается. Однако усложнение конструкции насадки и увеличение габаритных размеров приводит к увеличению гидравлических сопротивлений в сушилке. Следующие эмпирические формулы были получены с использованием метода наименьших квадратов для графических зависимостей, показанных на рисунке 4 [10, 11]:

$$y = -0,4286x^2 - 5,0286x + 105,6R^2 = 0,9989, \quad (1)$$

$$y = -0,3429x^2 - 6,6229x + 106,66R^2 = 0,9956, \quad (2)$$

$$y = -1,4286x^2 - 3,2286x + 103,2R^2 = 0,9862, \quad (3)$$

$$y = -0,7857x^2 - 8,9857x + 108,4R^2 = 0,9909, \quad (4)$$

$$y = 0,6429x^2 - 20,757x + 120,6R^2 = 0,9784. \quad (5)$$

Вывод

Проведен анализ конструкции насадки барабанной сушилки, используемой при производстве исследуемого удобрения, ее рабочих параметров, системы насадок различной конструкции и на основе анализа рекомендована усовершенствованная конструкция насадки, состоящей из двух частей.

Предложенная конструкция насадки была применена в реальных производственных условиях и экспериментально установлено, что она полностью удовлетворяет требованиям технологического регламента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тожиев, Р. Ж., Ахунбаев, А. А., & Миршарипов, Р. Х. (2018). Сушка тонкодисперсных материалов в безуносной роторно-барабанном аппарате. Научно-технический журнал ФерПИ,-Фергана, (2), 116-119.
2. Tojiev, R. J. (2019). Drying glass feed stock in drum drier for manufacturing glass products. Scientific-technical journal, 22(3), 137-140.
3. Mirsharipov, R. H., & Akhunbaev, A. A. (2020). Research of Hydrodynamic Parameters of Drum Dryer. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, 7(11).

5. Анализ процесса сушки минеральных удобрений в барабанном аппарате Р.Ж. Тожиев, А.А. Ахунбаев, Р.Х. Миршарипов, М.М.К. Муллажонов, М.М.У. Йигиталиев // *Universum: технические науки*. 2021. №(8-1 (89)). С. 31-36.
6. Исследование гидродинамических процессов при сушке минеральных удобрений в барабанных сушилках / Р.Д. Тожиев, А.А. Ахунбаев, Р.Х. Миршарипов // *Научно-технический журнал*. 2021. 4(4).
7. *Тожиев Р.Ж.* Оптимизация конструкции сушильного барабана на основе системного анализа процесса / Р.Ж. Тожиев, Р.Х. Миршарипов, А.А. Ахунбаев, Н.А.К. Абдусаломова // *Universum: технические науки*. 2020 №(11-1 (80)).
8. *Tojiyev R.J.* Research of hydrodynamic processes when drying mineral fertilizers in drum dryers / R.J. Tojiyev, A.A. Akhunbaev, R.X. Mirsharipov // *Scientific-technical journal*. 2021. №4(4). P. 10-16.
9. *Tojiev R.* Optimized dryer design based on system process analysis / R. Tojiev, R. Mirsharipov, A. Axunbaev, N. Abdusalomova // *Universum: технические науки: научный журнал*. 2020. №(2). 11.
10. *Ахунбоев А.А.* Барабанли аппаратда дисперс материални куриштиш жараёни статикаси / А.А. Ахунбоев, М.Р. Хабибуллаевич // *Фаргона политехника институти Илмий-техника журнали*. 2020. №5(1). P. 268-272.
11. *Khabibullaevich M.R.* Drying Building Materials in a Drum Dryer // *Journal of Marketing and Emerging Economics*, 2021. №1(6). P. 93-97.
12. *Mirsharipov R.* Analisi of drying building materials in a drum dryer // *Scientific progress*. 2021. №2(8). P. 145-152.

СПОСОБ ВЫБОРА И ЗНАЧЕНИЕ ПРЕССУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В ПРОИЗВОДСТВЕ ГОРЮЧИХ БРИКЕТОВ

А.А. Хакимов, Н.Х. Вохидова, М.Ж. Нуриддинов

Научный руководитель – **А.А. Хакимов**, д-р техн. наук, профессор

Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье разработана установка для прессования смешанной массы в угольные брикеты. Также дан анализ других связующих, используемых для брикетирования угольной мелочи.

Ключевые слова: угольная мелочь, спиртовая барда, брикетирование мелкой фракции, биомасса, пресс для формования, технология брикетирования

RELEVANCE AND RELEVANCE OF THE CHOICE OF A PRESSING DEVICE IN THE PRODUCTION OF COAL BRI- QUETTES

A.A. Khakimov, N.H. Vohidov, M.J. Nuriddinov

Scientific Supervisor - **A.A. Khakimov**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Ferghana Polytechnic Institute, Uzbekistan

In the article An installation for pressing a mixed mass into coal briquettes has been developed. An analysis of other binders used for coal fines briquetting is also given.

Keywords: coal fines, distillery stillage, fine fraction briquetting, biomass, molding press, briquetting technology

В настоящее время, благодаря высоким ценам на нефть и газ, интерес к углю в мире как альтернативному энергоносителю постоянно растет. Специалисты (последний прогноз МВФ World Economic Outlook) прогнозируют достаточно высокие цены на нефть и газ до 2050 года. Целый ряд сильных национальных экономик (прежде всего, США, Россия и Китай, а также Индия, Канада) намерены серьезно увеличивать количество угольных электростанций. Необходимо отметить, что одной из главных задач, которую необходимо решать при переработке угля, является

полное его использование. Увеличение стоимости нефти и постепенное истощение наиболее богатых ее источников привело к возрастанию доли угля в топливном балансе и развитию работ по производству из угля новых продуктов, в том числе угольной мелочи. Поэтому, следует считать начало XXI века периодом подготовки к значительному увеличению доли угля в топливно-энергетическом балансе, к осуществлению новых технологических процессов переработки угля.

Как показывают данные исследователей, примерно 25% добываемого угля Ангренского угольного бассейна имеют мелкую и пылевидную фракцию. Эти фракции не пользуются спросом у потребителей из-за сложности его использования. Возникают сложности и для отопления частных домов: просыпается через колосниковую решетку и потому имеет низкую тепловую эффективность, часто большое количество угольной мелочи перекрывает доступ кислорода, из-за чего печь затухает. По этим причинам множество пыли и угля мелких фракций (размером до 6 мм) скапливается на складах, в топливных сараях на частных подворьях. Проблема решается при производстве брикетированного угля. Эта технология позволяет из угольной пыли при высоком давлении изготовить топливные брикеты. Они хорошо переносят транспортировку и хранение, имеют большую теплотворную способность по сравнению с исходными материалами (не менее 6000 ккал/кг), не выделяют дыма и газов, прогорают полностью, не спекаясь, а распадаясь в золу.

Для эффективного брикетирования мелкого и пылевидного угля необходима разработка новых технологических устройств, учитывающая инфраструктурные особенности объекта. Поэтому, необходимы исследования, направленные на разработку рациональной технологии брикетирования угольной мелочи Ангренского угольного бассейна.

В настоящее время основными причинами, тормозящими развитие брикетирования угольной мелочи, является отсутствие доступного и дешевого связующего. По этой причине повсеместно и постоянно ведутся поиски различных вариантов индивидуальных или комбинированных связующих для получения топливных брикетов, расширяется их ассортимент.

Несомненным экологическим преимуществом является вовлечение в переработку отвалной технической барды Кокандского спиртового завода, наносящего вред окружающей среде. В роли наполнителя брикета используем твердую угольную мелочь или его смесь с углеродсодержащей биомассой. Добавка пористых углеродсодержащих материалов (в частности, технического гидролизной спиртовой барды) и перфорированная форма топливного брикета способствуют улучшению кинетики сгорания. Существуют добавки, катализирующие процесс розжига брикета (неорганические окислители, торф, древесный уголь). В зависимости

от характеристик брикетируемого материала применяются схемы с введением связующего материала и брикетирование без него. Различают связующие вещества нефтяного происхождения, продукты термохимической переработки углей и связующие неуглеводородного характера. Проведение постформовочной термообработки способствует снижению дымности и повышению пористости, но влечет дополнительные затраты. Факторами, влияющими на процесс брикетирования, являются влажность, крупность и температура материала, давление и продолжительность прессования. Данные параметры находятся между собой в тесной зависимости.

Если различные древесные отходы в виде опилок и щепы достаточно легко сжигать в специально приспособленных для этого котлах длительного горения, то с угольной мелочью и пылью дело обстоит иначе. Один из способов сжигания угольной мелочи – это растопить котел дровами, а потом сверху на горящие поленья подсыпать пыльную фракцию топлива. Но это слишком хлопотное дело, поскольку угольная пыль должна подсыпаться небольшими порциями, а значит, – часто. Наилучший способ – это методом прессования формировать из мелкой фракции брикеты, которые после этого очень хорошо горят, выделяя большое количество теплоты. Такое решение, как брикетирование углей, было предложено еще в начале позапрошлого века в России изобретателем А.П. Вешняковым и по сей день успешно используется как в промышленных целях, так и в быту. Суть его в том, что уплотнение угольной мелочи с помощью высокого давления на специальном оборудовании позволяет получать топливо, чья теплотворная способность не меньше, чем у качественных углей.

Угольные брикеты изготавливают из бурого угля, крошки и пыли антрацитов и каменных углей, полукоксовой и коксовой мелочи. В зависимости от типа исходного сырья в него добавляются или нет связующие компоненты.

Формирование брикетов из бурого угля происходит без добавления связующих, так как сам материал содержит до 20% битумов. При переработке сырье измельчают, нагревают и сушат, доводя до 18-20% влажности. После охлаждения полученную крошку подают в пресс высокого давления, где формируется кусковое топливо. Их после охлаждения можно использовать или улучшить качественные характеристики в установках по полукоксованию.

Брикетиrowание мелочи каменных углей также может происходить как с использованием связующих, так и без них. При промышленном изготовлении в качестве связующего элемента добавляют следующие вещества: нефтебитум; лигносульфонаты; меласса; жидкое стекло и цемент.

Угольные брикеты обладают следующими преимуществами перед исходным углем:

- более высокая энергетическая ценность (на 20-30%);
- более длительное горение (в 4 раза дольше);
- зола в виде порошка;
- на 22% меньше эмиссия CO₂;
- меньшая эмиссия серы (меньше 1% и может контролироваться);
- легче упаковка, транспортировка, складирование;
- готово для автоматической подачи в топку;
- возможность упаковки для потребительского рынка;
- возможности реализации на экспорт.

Жидкое стекло и цемент используются при переработке некоторых видов угля и мелкого кокса. Такие брикеты применяют в металлургии в тех процессах, где наличие подобных составляющих допустимо. Угольная смола и нефтебитум также используются для производства топлива промышленного применения. Для отопления домов такие брикеты не подходят: при сгорании выделяется бензопирен и другие вредные вещества, так что они запрещены СЭС и спрос на них весьма ограничен.

Чтобы сделать такие брикеты из мелкого каменного угля, нужно разобраться, как и с помощью каких станков их штампуют на заводе. Оборудование для производства отопительных брикетов представляет собой технологическую линию, состоящую из таких установок: дробилка; сушильная камера; пресс для брикетирования. Единицы оборудования перечислены в той же очередности, в какой они стоят согласно технологии. Подача сырья и его перемещение между установками производится посредством ленточных либо шнековых конвейеров.

Процесс прессования угольного топлива происходит следующим образом:

1. В дробилке угольная мелочевка измельчается до частиц одинакового размера, зависящего от характеристик прессового оборудования. Максимально допустимая крупность фракции – 6 мм.

2. В сушилке влажность сырья уменьшается до значения 15% (максимум).

3. Последний этап – прессование, выполняемое под давлением от 20 до 120 МПа, в зависимости от используемой технологии.

Поскольку технология производства угольных брикетов без всяких добавок для бытовых целей более оптимальна, то стоит рассмотреть именно ее. Итак, последовательность процесса следующая:

1. Сначала уголь проходит операцию измельчения, при этом допускается максимальная крупность фракции 6 мм;

2. Следующая операция – сушка с целью добиться оптимальной влажности 15%. Для этого применяется особое оборудование для производства угольных брикетов – паровые или газовые сушилки;

3. После сушки состав охлаждается и подается на прессование. Операция проходит при давлении 100-150 МПа в так называемом штемпельном прессе;

4. Окончательное охлаждение и отгрузка на склад.

Это традиционный технологический процесс, но требования к крупности фракции и влажности сырья могут изменяться в зависимости от используемого оборудования. Например, современный мини-завод российской компании ЮНИТЕК требует размеров частиц до 0.25 мм с влажностью от 6 до 16%. То есть, в этом случае технология брикетирования угля должна предусматривать более качественное измельчение, зато и давление прессования применяется гораздо ниже.

На выходе получается угольный брикет, чья зольность не превышает 15-20%, максимально допустимая механическая нагрузка – 3 кг/см², а при падении с высоты до 2 м изделие теряет не более 15% своей массы в результате удара. Теплота сгорания зависит от марок углей, из которых брикет спрессован.

Нами разработан пресс для формования смеси угольной мелочи и спривовой барды (рис. 1).

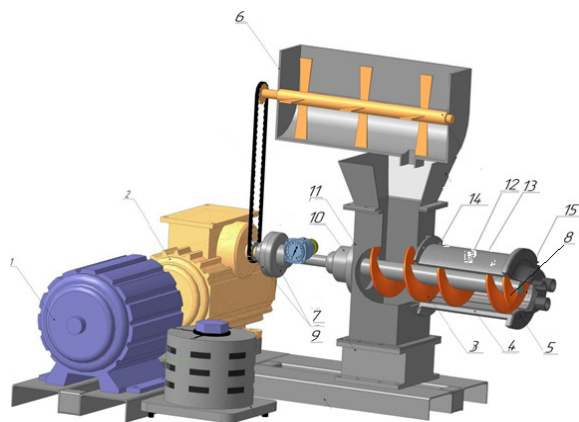


Рис. 1. Пресс для формования:

- 1 - электродвигатель; 2 - червячный редуктор; 3 - шнек; 4-форма;
5 - мунштук; 6 - бункер; 7, 9 - муфта; 8 - шнек; 10 - вал; 11 - подшипник;
12 - прессующая часть; 13 - корпус

Это позволяет получить в итоге брикет по составу и характеристикам не чем не уступающий исходному сортовому виду угля и избежать обычных недостатков (посторонний запах, большая зольность, низкая калорийность и т.д.). Основной рабочей единицей, предлагаемого оборудования являются экструдерные прессы, которые разработаны специально для брикетирования горных пород, антрацитового штыба, угольных шламов, крошки бурого угля, торфа и т.д. В основе технологии прессования лежат адгезионно-химические процессы, протекающие в вязко-химических системах, образованных тонкодисперсными частицами ископаемых углей, которые сами выступают вязущими веществами. А по-просту говоря, в процессе работы пресса создаются такие физико-химические условия, которые заставляют уже входящие в состав угля ископаемые органические компоненты (фенолы, смолы, воск и т.п.) при участии воды поляризоваться на поверхности частиц заставляя их связываться между собой. При остывании и обсушивании брикет твердеет и закрепляется. Брикетированное топливо обладает высокими теплоэнергетическими свойствами, в частности достаточной механической прочностью, водостойкостью и термостойкостью. Слой такого топлива при сжигании имеет хорошую газопроницаемость, что обеспечивает полную степень сгорания даже при относительно высокой зольности. Для достижения максимальной производительности брикетировочных прессов нашей компанией разработаны накопительные бункера со шнековыми подпрессовщиками, которые обеспечивают бесперебойную подачу шихты под необходимым давлением и с расчетной скоростью. Кроме того, в состав линии брикетирования входят коробчатые конвейеры с воздушными охладителями и термогрозом. Для получения шихты необходимой влажности разработаны смесительные барабаны емкостью до одной тонны готового сырья.

Рецептуру топливных брикетов можно проиллюстрировать следующими примерами:

1. При помощи вышеупомянутого оборудования была изготовлена партия таблеток топлива высотой сорок восемь миллиметров и диаметром пятьдесят миллиметров. Состав топливных таблеток – измельченный древесный уголь (92%), вода (2%), картофельный крахмал (6%). Материал прессуют и высушивают по вышеупомянутой технологии. Изготавливаемые таким образом брикеты с легкостью воспламеняются от спички и горят с почти незаметным красным свечением, не образуя пламени, копоти, дыма, токсичных веществ, а также запаха на протяжении двух часов. Они выделяют много тепла, которого хватает, чтобы обогреть теплицу либо жилое помещение в зимнее время.

2. При помощи этого же оборудования изготовили партию таблеток топливных высотой сорок восемь миллиметров и диаметром пятьде-

сят миллиметров. Состав выпущенных таблеток: измельченный древесный уголь (92 %%), карбоксилметилцеллюлоза (6%), вода (2%). Перемешивают, прессуют и высушивают, как и в примере 1. По своему качеству эти топливные брикеты не уступают брикетам из первого примера.

3. Используя то же самое оборудование, выпускают партию таблеток аналогичных размеров со следующим составом: измельченный древесный уголь (94%), силикат натрийгидрированный (4%), вода (2%). Готовые брикеты характеризуются повышенной прочностью, по своим характеристикам не уступают вышеупомянутым топливным брикетам.

4. На этом же оборудовании изготовили партию таблеток аналогичных размеров, имеющих следующий состав: измельченный древесный уголь (80%), крахмал (18%), вода (2%). По своему качеству эти топливные брикеты существенно уступают всем вышеперечисленным. Они отличаются более низкой прочностью на сжатие и уменьшенной до 6 000 ккал/кг удельной теплотой сгорания.

5. Топливные таблетки на этом же оборудовании аналогичных размеров изготовили со следующим составом: измельченный древесный уголь (60%), крахмал (2%), вода (2%). Готовые брикеты отличаются на много более низкой механической прочностью.

Прочностные и энергетические показатели топливных брикетов зависят от количества использованных для их изготовления компонентов. Если связующего вещества использовать больше нормы, энергетические характеристики изготавливаемых брикетов ухудшатся, а если меньше нормы, то снизится их прочность, вплоть до разрушения. При даже незначительном увеличении количества воды ухудшится способность к воспламенению, при поджигании начнет выделяться пар.

Испытания продемонстрировали, что при применении в качестве связующего силиката-глыбы либо жидкого стекла прочность брикета на раздавливание повышается в полтора раза, на истирание – в два раза.

Хотим подчеркнуть, что в условиях отсутствия открытого огня при горении брикетов исключается вероятность воспламенения в случае попадания на их поверхность легковоспламеняющейся жидкости (ацетона, спирта, бензина и пр.). Благодаря данному свойству, существенно расширяется область использования топливных брикетов. Они могут быть использованы для разогрева газопроводной арматуры, автомобильных двигателей в зимнее время года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хакимов А.А. Кўмир кукунидан брикетлар тайёрлашнинг долзарблиги / А.А. Хакимов, Д.С. Салиханова, И.Т. Каримов // Фаргона политехника институти илмий техника журнали. 2019. Т. 23, №. 2. С. 226-229.*

2. *Хакимов А.А.* Кўмир кукунини брикетловчи курилма / А.А. Хакимов, Д.С. Салиханова, И.Т. Каримов // Фарғона политехника институти илмий техника журналы. 2018. № спец. Т. 2. С. 169-171.
3. Связующее для угольного брикета и влияние его на дисперсный состав / А.А. Хакимов [и др.] // *Universum: химия и биология*. 2020. №. 6(72). С. 81-84.
4. *Хакимов А.А.* Использование местных отходов в производстве угольных брикетов / А.А. Хакимов, Н.Х. Вохидова // *Универсум: химия и биология*. 2020. №. 4 (70).
5. *Axmedovich X.A.* Research the strength limit of briquette production / X.A. Axmedovich, S.D. Saidakbarovna // *Asian journal of multidimensional research*. 2021. Т. 10, №. 5. С. 275-283.
6. *Хакимов А.* Технология брикетированного угля // Материали конференцій МЦНД. 2020. С. 76-78.
7. *Хакимов А.А.* Кўмир брикети ишлаб чикаришнинг янги технологиясини яратиш / А.А. Хакимов, Н.Х. Вохидова, Қ. Нажимов // ўзбекистон республикаси олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги Захириддин Муҳаммад Бобур номидаги Андижон давлат университети. С. 264.
8. *Khakimov A.A.* Calculation and design of a screw press for a fuel briquette / A.A. Khakimov, D.S. Salikhanova, N.K. Vokhidova // *Scientific-technical journal*. 2020. Т. 24, №. 3. С. 65-68.
9. Определение показателей качества угольного брикета / А.А. Хакимов [и др.] // *Universum: химия и биология*. 2021. №. 5-2 (83). С. 40-44.
10. *Вохидова Н.Х.* Анализ связующих из местного сырья для брикетирования угловой мелочи / Н.Х. Вохидова, А.А. Хакимов, Д.С. Салиханова, А.А. Ахунбаев // *Научно-технический журнал ФерПИ*. 2019. *Scientific-technical journal (STJ FerPI, ФарПИ ИТЖ, НТЖ ФерПИ, 2019, Т.23, спец. №3)*. С. 69-74.

**ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ
БАРБОТАЖНЫХ ЭКСТРАКТОРОВ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ТРИАЦЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

А.О. Хошимов², Б.А. Алиматов¹, Х.М. Садуллаев²

Научный руководитель - **Б.А. Алиматов**, д-р техн. наук,
профессор

¹Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

²Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье приводятся рекомендации по экономии энергии на перемешивание жидкостей заменой экстракторов с сетчатыми тарелками на экстрактор барботажного типа, преимущество последнего доказано результатами экспериментальных исследований.

***Ключевые слова:** отстойная зона, рабочий элемент, межфазная поверхность, реагирующие жидкости, гидравлическое сопротивление, лопастная мешалка, центробежный насос, инертный газ*

**ENERGY SAVINGS IN THE APPLICATION
OF BUBBLE EXTRACTORS IN THE PRODUCTION
OF TRIACETYLCELLULOSE**

A.O. Khoshimov², B.A. Alimatov¹, X.M. Sadullayev²

Scientific Supervisor - **B.A. Alimatov**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

¹V.G. Shukhov Belgorod State Technical University

²Fergana Polytechnic Institute, Uzbekistan

The article provides recommendations for saving energy for mixing liquids by replacing extractors with mesh plates with a bubbling-type extractor, which has been proven to be advantageous by the results of experimental studies.

***Keywords:** settling zone, working element, interfacial surface, reacting liquids, hydraulic resistance, paddle mixer, centrifugal pump, inert gas*

В производстве триацетилцеллюлозы применяется противоточный технологический процесс экстракции уксусной кислоты из её водного

раствора этилацетатом, который основан на практической нерастворимости этилацетата в воде, а также наличии разности удельных весов легкой и тяжелой жидкостных фаз.

В Ферганском производственном объединении «Азот» данный технологический процесс осуществляется в экстракторах с ситчатыми тарелками общей высотой 18,44 м: в рабочей части аппарата диаметром 1400 мм и высотой 10,53 м установлено 40 ситчатых тарелок с расстоянием между тарелками 270 мм. Верхняя расширенная часть экстрактора диаметром 2200 мм и высотой 4,3 м служит отстойной зоной.

Основными недостатками в работе экстракторов цеха является небольшая удельная производительность по жидкостям ($19 \div 19,2 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$, или 82% от проектной) и значительный унос ($10 \div 12\%$ и более) водной фазы с эфирокислотой из верхней части аппарата.

На основании проведённых экспериментальных исследований, нами предложена последовательная реконструкция экстракторов с ситчатыми тарелками в экстракторы барботажного типа, осуществление которой предполагается провести в два этапа: на первом этапе последовательно реконструировать верхние отстойные части всех 12 экстракторов цеха с использованием рабочих элементов барботажного экстрактора; на втором этапе осуществить полную реконструкцию экстракторов с ситчатыми тарелками в экстракторы барботажного типа.

Как известно, процесс жидкостной экстракции характеризуется потреблением большого количества энергии, одна часть которой вводится непосредственно в экстракционный аппарат для развития межфазной поверхности контакта фаз, а другая используется для питания насосов, перекачивающих реагирующие жидкости в экстрактор и работу других устройств.

В классической экстракционной установке с использованием экстракторов с механическими перемешивающими устройствами насосы должны обеспечить необходимый напор, достаточный для преодоления гидравлического сопротивления столба жидкости в экстракционном аппарате высотой Н.

Нашими исследованиями установлено, что при Н=10 м затраты энергии на приведение во вращение лопастной мешалки составляют 12,55 кВт. Расход энергии на питание центробежного насоса, перекачивающего одну из жидкостей через колонный аппарат, составляет 1,32 кВт. Поскольку в процессе жидкостной экстракции участвуют как минимум две жидкие фазы, расход энергии соответственно возрастет в два раза и составит 2,64 кВт. Следовательно, общий расход энергии составит 15,1 кВт.

На сегодняшний день одним из перспективных экстракционных аппаратов с подводом внешней энергии для интенсификации процесса

массопередачи является экстрактор барботажного типа, в которых перемешивание жидкостей осуществляется при помощи барботирующего сквозь жидкости инертного газа, ряд конструкций которых разработаны на кафедре «Технологические машины и оборудование» и отдельные из которых успешно эксплуатируются в промышленности. Основными преимуществами таких аппаратов является высокая эффективность процесса и отсутствие внутренних механических перемешивающих устройств.

Нами установлено, что для перемешивания жидкостей в колонном экстракторе высотой 10 м и диаметром 1 м при пневматическом перемешивании жидкостей затрачивается всего 4,23 кВт энергии. При этом отпадает необходимости в перекачивании жидкостей в установку при помощи дополнительных насосов.

Т.о. при проведении многотоннажных непрерывных процессов жидкостной экстракции в установках с барботажными экстракторами можно добиться значительной экономии электроэнергии с учетом все возрастающей ее стоимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ecological environment and its improvements in the fergana valley / X. Sadullaev [et al.] // Барқарорлик ва Етақчи Тадқиқотлар онлайн илмий журнали. 2021. Т.1, № 5. С. 100-106.
2. *Tojiev R.J.* Determination of the angle of capture of the crushing chamber of a cone crusher, taking into account the kinematics of the rolling cone / R.J. Tojiev, X.M. Sadullaev // Scientific-technical journal. 2018. Т. 22, № 3. С. 55-60.
3. Экономия энергии в экстракционной установке с пневмоперемешиванием жидкостей / Б.А. Алиматов [и др.] // Вестник Белгородского гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. 2011. № 4.
4. *Алиматов Б.А.* Конструкции жидкостных экстракторов с пневмоперемешиванием. Белгород: Белгородский гос. технол. ун-т, 2011. 109 с.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ КОНСТРУКЦИЯ БАРБОТАЖНОГО ЭКСТРАКТОРА

М.А. Хусанбоев², Б.А. Алиматов¹, Х.М. Садуллаев²

Научный руководитель – Алиматов Б.А, д-р техн. наук,
профессор

¹Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

²Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье описывается принцип работы устройства барботажного экстрактора, исключающего расслоение жидкостей в смесительной зоне и позволяющего устранить возможность возникновения застойных зон.

Ключевые слова: полидисперсная система, капель, массопередача, барботирующий газ расслоение, секция ступень, патрубок, газораспределитель легкая жидкость

HIGH EFFICIENCY CONSTRUCTION OF BUBBLING EXTRACTOR

М.А. Xusanboyev², В.А. Alimatov¹, Х.М. Sadullayev²

Scientific Supervisor - В.А. Alimatov, Doctor of Technical Sciences,
Professor

¹V.G. Shukhov Belgorod State Technological University

²Fergana Polytechnic Institute, Uzbekistan

In the article, the device and the principle of operation of the bubbling extractor, which excludes the stratification of liquids in the mixing zone are described, and the possibility of stagnant zones is eliminated.

Keywords: polydisperse system, drops, mass transfer, bubbling gas bundle, step section, branch pipe, the gas distributor is a light liquid

Исследования по пневмоперемешиванию показали, что при сравнительно небольшом расходе газа ($w_r = 0,015$ м/с) образуется полидисперсная система капель с размером 20-800 мкм, имеющая удельную межфазную поверхность 1000-3000 м²/м³. Эксперименты по

массопередаче в системе «вода - фенол - бензол» позволили установить, что такой экстрактор может работать при суммарных удельных нагрузках по жидкостям до $15 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ с КПД, равным 0,85-0,95, достигаемым путём изменения расхода барботирующего газа.

Наряду с этим, данный экстрактор не лишён ряда серьёзных недостатков, было установлено, что на данном экстракторе наблюдается расслоение жидкостей уже в смесительной зоне, при больших размерах смесителя не устранена возможность возникновения застойных зон, что приводит к поперечной неравномерности, значительно снижающей эффективность аппарата. Для устранения этого явления, заключающегося в непостоянстве скоростей потоков жидкостей по сечению смесителя, необходимо организовать направленное движение в смесителе в сочетании с интенсивным перемешиванием.

Такой многоступенчатый барботажный экстрактор был разработан нами и использован практически на стадии двойной экстракции капролактама. На рис. 1 представлен данный многоступенчатый экстрактор.

Вертикальный корпус 1 экстрактора разбит горизонтальными перегородками 2 на отдельные секции-отстойники (ступени экстракции), в которых установлены вертикальные смесительные элементы в виде двух концентрических патрубков: внутреннего 3 и наружного 4. В нижнем конце патрубков 3 выступает под перегородку 2 и служит газораспределительной насадкой 5 с отверстиями 6 в боковых стенках для прохода газа во внутрь патрубка 3. В перегородках 2 укреплены также трубки 7 для перетока тяжёлой жидкости в нижележащие секции, которые с нижних заглушенных концов имеют отверстия 8, а верхние концы трубок 7 выступают над перегородкой 2 и перекрыты сверху колпачками 9. В нижней части колпачки 9 имеют прорези 10 для прохода тяжёлой жидкости. Работает экстрактор следующим образом.

Лёгкая жидкость из верхней части отстойной зоны по патрубку 5 поступает во внутрь патрубка 3. Туда же через отверстия 8 трубки 7 поступает тяжёлая жидкость. При совместном движении вверх внутри патрубка 3 жидкости интенсивно перемешиваются барботирующим инертным газом, который поступает в смеситель через отверстия 6. Перемешанные жидкости проходят далее сверху вниз по кольцевому каналу между патрубками 3 и 4, выходят в отстойную часть секции, где капли тяжёлой жидкости оседают и образуют на перегородке 2 сплошной слой, высота которого определяется высотой поднятия над перегородкой верхнего среза трубок 7.

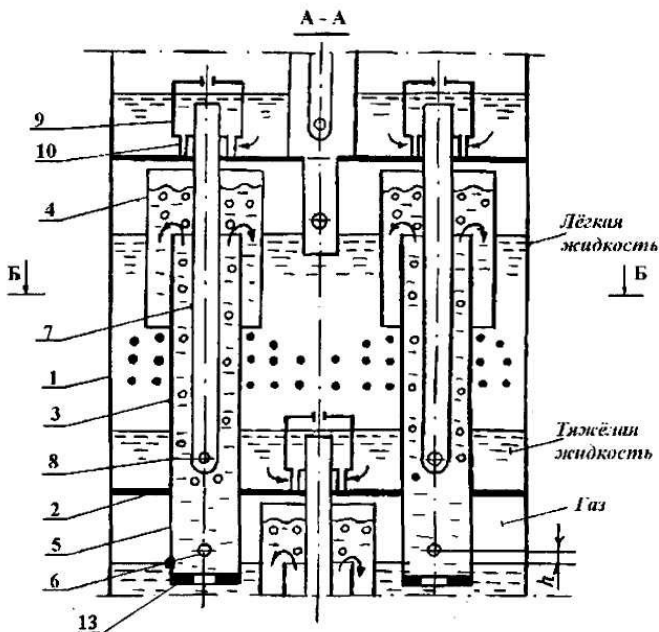


Рис. 1. Многоступенчатый барботажный экстрактор

Тяжёлая жидкость попадает в трубки 7 через прорези 10 в нижней части колпачков 9, чем обеспечивается попадание в трубки 7 только полностью отстоявшейся тяжёлой жидкости. Инертный газ выходит из смешительного элемента в зазор между верхним срезом патрубка 4 и перегородкой 2. Размер и количество отверстий 6 в газораспределительном насадке 5 рассчитываются так, чтобы обеспечить под перегородкой 2 некоторый слой газа высотой « h », что будет гарантировать равномерное поступление газа во все параллельно работающие смешительные элементы.

Установка на нижнем конце патрубков 5 шайб 13 препятствует выходу тяжёлой жидкости в нижележащую секцию через нижний срез патрубка 5.

Экстрактор может быть наиболее успешно использован в тех производствах, где диспергированию подвергается тяжёлая жидкость, а лёгкая жидкость является сплошной средой.

Для жидкостных систем с диспергированием лёгкой жидкости данный аппарат не может быть использован (например простым переворачиванием на 180°), т.к. этому препятствует наличие в экстракторе третьей фазы - инертного газа и непредусмотренные в

конструкции специальные пути его движения. Для подобных промышленных систем нами разработана конструкция многоступенчатого барботажного экстрактора, и проведены успешные его лабораторные испытания применительно к процессу извлечения капролактама трихлорэтиленом для условий Чирчикского п/о «Электрохимпром».

Анализ предложенного экстрактора позволяет выявить ещё целый ряд его достоинств, основными из которых являются:

- простота и технологичность конструкции;
- аппарат обладает неограниченной производительностью по жидкостям, поскольку в каждой ступени можно устанавливать любое количество параллельно работающих смесительных элементов;
- высокая эффективность процесса экстракции достигается за счёт прямоточного движения контактирующих жидкостей в пределах каждой ступени при общем противоточном движении жидкостей в пределах всей колонны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. № 912197 СССР. Многоступенчатый барботажный экстрактор / Алиматов Б.А., Садуллаев Х.М. опубл. БИ №10,1982.
2. Патент №5013 РУз. Многоступенчатый барботажный экстрактор / *Алиматов Б.А.* ОБ. №2, 1998.
3. Ecological environment and its improvements in the fergana valley / X. Sadullaev [et al.] // Барқарорлик ва Етакчи Тадқиқотлар онлайн илмий журнали. 2021. Т.1, № 5. С. 100-106.

РАЗРАБОТКА РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭТИЛОВОГО СПИРТА И БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ЕГО ОСНОВЕ

**М.А. Червочкин, М. А. Гончарова, М.С. Белинов,
В.В. Соловьев**

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

Ярославский государственный технический университет

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой ресурсосберегающей технологией получения этилового спирта и биодизельного топлива на его основе. Серьезное внимание авторы уделяют этапам процесса разгонки этилового спирта в присутствии пеногасителей.

Ключевые слова: ресурсосберегающая технология, этиловый спирт, биодизельное топливо

DEVELOPMENT OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF ETHYL ALCOHOL AND BIODIESEL BASED ON IT

M.A. Chervochkin, M.A. Goncharova, M.S. Belinov, V.V. Soloviev

Scientific Supervisor - **V.V. Soloviev**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This article discusses issues related to the development of a resource-saving technology for producing ethyl alcohol and biodiesel based on it. The authors focus on the stages of the process of dispersing ethyl alcohol in the presence of defoamers.

Keywords: resource-saving technology, ethyl alcohol, biodiesel

Разработка ресурсосберегающих технологий производства технического этилового спирта, отвечающего современным требованиям качества и безопасности, является одной из приоритетных задач отечественной промышленности, которая положена в основу стратегии развития перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса (АПК) [1]. В последнее время технический этиловый спирт стал находить широкое использование в производстве биотоплива, мировая потребность в котором увеличилось почти в 10 раз.

В предыдущих работах было показано, что технический этанол в неограниченных количествах для синтеза биотоплива может быть получен на основе растения рода *Heracleum* (Борщевика Сосновского), которое по биологическим и химическим показателям превосходит сельскохозяйственные культуры по содержанию сахаров как в России, так и в странах с тропическим и субтропическим климатом [2]. К тому же борщевик Сосновского является потенциальным техногенным загрязнителем сельскохозяйственных и дворовых территорий и по этой причине требует неотложной переработки по предлагаемой в настоящей работе технологии в технический этиловый спирт, на основе которого может быть получен биодизель [3].

Предыдущими исследованиями было показано, что биомасса борщевика Сосновского относительно легко сбраживается традиционными способами, а выделенный этанол является потенциальным источником получения биодизельного топлива, синтез которого можно осуществлять с помощью реакции переэтерификации технических растительных масел или этерификацией жирных кислот таллового масла. Однако как в процессе брагоректификации, так и получении биодизеля, где спирт, как правило, берется в мольном избытке, процесс выделения целевого (в брагоперегонке) и непрореагировавшего спирта (в процессе получения биодизельного топлива) сопровождается интенсивным пенообразованием [4].

Известно, что при гашении пены механическим или пневматическим способом большое значение имеет устойчивость пены. В некоторых случаях она бывает настолько большой, что применение различных промышленно выпускаемых образцов пеногасителей в данном конкретном способе переработки и выделения спирта-сырца и регенерированного спирта при производстве биодизеля с более высокой концентрацией чем исходный образец становится неэффективным. Поэтому для реализации процесса в опытно-промышленном масштабе необходимо было исследовать эффективность влияния различных образцов отечественных и зарубежных пеногасителей на процесс разрушения пены.

На первом этапе исследований, в рамках процесса импортозамещения в работе был испытан отечественный промышленный пеногаситель "ПЕНОГАС Технобиор" по ТУ 2257-006-56478541-07. Хотя производителем этого продукта не сообщается о его химическом составе, однако он успешно применяется для предотвращения образования пены в водных растворах техническим моющих средств (ТМС), в производстве охлаждающих жидкостей, при окраске дисперсными красителями с большим содержанием поверхностно-активных веществ (ПАВ), в текстильной, лакокрасочной и других отраслях промышленности. Рекомендуемая производителями концентрация при его применении составляет от 0,005 до 0,03% мас.

Так же в качестве разрушителей эмульсионной пены испытывались наиболее дешевые и доступные промышленные образцы отечественных пеногасителей, которые производятся на предприятии Новосибирского промышленного холдинга АМК групп Пента 91: Пента АС 60; Пента 480; Пента 480 Б; Пента 480 В; Пента 461; Пента 462 А; Пента 463 А; Пента 463 В.

В качестве импортного образца испытывался ранее доступный и надежный пеногаситель для моющих средств SCHAUMBREMSE, производитель - Германия. По сообщению фирмы изготовителя, этот пеногаситель способен эффективно нейтрализовать любую пену, а в связи с тем, что он не содержит силикона, то после его применения в кубовых продуктах разгонки сырого этилового спирта и биодизеля не должно оставаться осадка.

К сожалению, все вышеперечисленные препараты отечественного и зарубежного производства хотя и показали положительные результаты в плане пеногашения, однако все они оставались в кубовых продуктах разгонки спирта-сырца, а также в биокомпоненте дизельного топлива, что является недопустимым при техническом осуществлении процесса получения биотоплива по ГОСТ 33131-2014

Известно, что алифатические эфиры (метиловые, этиловые, пропиловые и бутиловые) жирных кислот обладают сильными пеногасящими свойствами [5], поэтому в настоящей работе этиловые эфиры жирных кислот, полученные в качестве биодизельного топлива, были использованы для пеногашения на стадии брагоперегонки и получения биодизеля.

В этой связи в ходе дальнейших исследований был выбран отечественный образец пеногасителя — этиловый эфир жирных кислот технического подсолнечного масла (ЭЖКТП), который сравнивался с традиционно применяемой олеиновой кислотой (пеногасителем) на большинстве промышленных предприятий брагоперегонки и других технологических производствах (табл. 1, 2).

Таблица 1. Изменение пенообразующей способности и устойчивости пены дрожжевой суспензии (35 г/л) в зависимости от концентрации в ней этиловых эфиров жирных кислот технического подсолнечного масла (ЭЖКТП)

Концентрация ЭЖКТП в среде, % мас.	Объем пены через 30 с встряхивания, мл	Время полного свободного гашения, с
Суспензия без ЭЖКТП	10	3600
0,01	10	85
0,05	8	60
0,100	10	40
0,150	15	180
0,180	17	200

Таблица 2. Изменение пенообразующей способности и устойчивости пены дрожжевой суспензии (35 г/л) в зависимости от количества олеиновой кислоты и этиловых эфиров жирных кислот технического подсолнечного масла (ЭЖКТП)

Количество ПАВ в дрожжевой суспензии	Объем пены через 30 с встряхивания, мл	Остаток пены через 10 мин свободного отстаивания, с
ПАВ отсутствует	10	10
Олеиновая кислота		
1 капля	5	1,5-2
2 капли	3-5	1,5-2
ЭЖКТП		
1 капля	10	Пена исчезает через 90 с.
2 капли	10	Пена исчезает через 60 с.
3 капли	15	Пена исчезает через 240 с.

Из данных табл. 2 следует, что по эффекту снижения устойчивости пены ЭЖКТП превосходит даже олеиновую кислоту. Эффективность действия ЭЖКТП возрастает при содержании его в среде до 0,1%. Дальнейшее увеличение концентрации повышает пенообразование. Поскольку объем пены с ЭЖКТП примерно такой же, как и в его отсутствие, он не может быть рекомендован в качестве пеногасителя в аппаратах с непрерывным пенообразованием. Однако он может быть использован при пневматическом и механическом способах пеногашения, а также для самостоятельного гашения пены в аппаратах с периодическим пенообразованием, например в процессе периодической разгонки этилового спирта-сырца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтернативное растительное сырье для производства биодизеля / С.М.Каленская [и др.] // Изв. Тимирязевской с/х акад. 2013. № 6. С.31-39.
2. Альтернативные топлива из нетрадиционных источников сырья / О.В.Вахромеева, А.Е. Головков, Н.В. Гасанова, А.В. Павлов, В.В. Соловьев // Путь в науку. Актуальные проблемы биологии, экологии и химии: тез. докл. Всерос. молодёж. науч. конф., 16 апр. 2020 г., Ярославль / сост. С. Н. Леднев. Ярославль: ЯрГУ, 2020. С. 20.
3. Червочкин М.А. Изучение процесса переработки отходов ЦБК, представленных жирно-кислотными составляющими в альтернативные биотоплива / М.А. Червочкин, С.В. Крапивина, В.В. Соловьев // Всерос. конф. с междунар. участием «Проблемы и инновационные решения в химической технологии» (ПИРХТ-2019), 7–9 октября 2019 г., г. Воронеж. Воронеж, 2019. 73–74.
4. Головков А.Е. Мониторинг сахаристости боршевика Сосновского на разных стадиях вегетации растения / А.Е. Головков, О.В. Вахромеева, А.В. Павлов, В.В. Соловьев // 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: Изд-во ЯГТУ, 2020. С 164-166.
5. Математическое описание процесса этерификации бутилового спирта жирными кислотами таллового масла при опытно-промышленном получении биологически чистого биотоплива / М.А. Червочкин, М.С. Белинов, О.В. Малышкина, В.В. Соловьев, В.В. Губич // Математика и естественные науки. Теория и практика: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 17. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. 180 с.

**СИНТЕЗ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА
ОСНОВЕ ОТРАБОТАННЫХ НЕФТЯНЫХ МАШИННЫХ
МАСЕЛ, НАХОДЯЩИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПРОЦЕССА
ОБЕЗВОЖИВАНИЯ УГЛЕЙ**

М.А. Червочкин, А.В. Белян, М.С. Белинов, В.В. Соловьев

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

Ярославский государственный технический университет

В настоящей статье рассматривается процесс обезвоживания угля и флотоконцентратов поверхностно-активными веществами, полученными из отработанных нефтяных машинных масел.

***Ключевые слова:** Кокс, уголь, коксохимическое производство, обезвоживание флотоконцентратов.*

**SYNTHESIS OF SURFACTANTS BASED ON SPENT
PETROLEUM ENGINE OILS, WHICH ARE USED
FOR THE PROCESS OF COAL DEWATERING**

M.A. Chervochkin, A.V. Belyan, M.S. Belinov, V.V. Solovyov

Scientific Supervisor - **V.V. Soloviev**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This article discusses the process of dewatering coal and flotation concentrates with surfactants obtained from spent petroleum engine oils.

***Keywords:** coke, coal, coke chemical production, dewatering of flotation concentrates.*

Известно, что в настоящее время до 60% общемировой добычи угля расходуется для получения электроэнергии, 25% тратится на производство кокса, остальной уголь, как правило, используется в коммунально-бытовом хозяйстве, а также применяется в качестве сырья для химической промышленности и расходуется прочими потребителями [1]. Международное энергетическое агентство (МЭА) в 2022 году прогнозирует рекордно высокий спрос на уголь. После спада добычи угля в 2020 и

2021 году ожидается, что глобальная генерация тепловой и электроэнергии, а также различных химических продуктов из угля в мире из-за резкого повышения цен на нефтяное и газовое сырье в целом увеличится на 10-20% в ближайшее время [2]. Также в связи с, неизбежным сокращением запасов коксующихся углей постоянно растет потребность металлургии и коксохимии в чистых углеродных материалах [3]. Появление новых технологий выработки стали, принципиально отличающихся от классического доменного производства и современных коксохимических технологий, возродило интерес к средне- и мелкодисперсным углеродным материалам, которые должны быть максимально обезвожены перед процессом их транспортировки и последующего использования в качестве сырья для коксохимии или горючего материала. Как правило, обезвоживание угля или угольной пульпы может проходить естественным способом, на грохотах, с помощью центрифуг на ленточных пресс-фильтрах и иными физическими способами, такими как фильтрование под вакуумом или под повышенным давлением [4]. Анализ имеющихся данных показывает, что наиболее полное удаление влаги может достигаться применением не только физических, но и сочетанием их с химическими методами. Поэтому в настоящей работе авторы предлагают обрабатывать поверхностно-активными веществами крупно-, средне- и мелкодисперсные углеродные материалы, для их максимального обезвоживания до и после их процессов технологической транспортировки, а также перед непосредственным использованием в качестве топлива или сырья для коксохимических и иных процессов их переработки.

Рядом авторов, неоднократно показывалась эффективность и универсальность поверхностно-активных веществ (ПАВ) в процессе обезвоживания угля, однако в большинстве случаев предлагаемые ПАВ только увеличивали скорость фильтрования, и незначительно снижали влажность угля или осадка - углешлама. Кроме того, стоимость указанных реагентов довольно высока [5].

Чтобы выявить возможности применения для этой цели дешевых синтетических продуктов, были выполнены поисковые работы по синтезу поверхностно-активных веществ, на основе производных таллового масла полученного из древесины (отход целлюлозно-бумажного производства), а также отходов переработки отработанных нефтяных минеральных масел после их очистки и разгонки под атмосферным давлением и вакуумом с последующим омылением, полученных в ходе разгонки и окисленных нефтепродуктов.

В ходе выполнения работы из-за введенных экономических санкций против Российской Федерации и общемирового роста цен на масложировое сырье, отходы масляного сырья растительного происхождения, включая и талловые продукты, резко повысились в цене, в то время как

отходы минеральных нефтяных масел из-за перехода силовых агрегатов современных автомобилей на электрическую тягу практически остались невостребованными, резко упали в цене, и в настоящее время требуют незамедлительной переработки или утилизации.

В качестве исходного нефтяного сырья были испытаны образцы отработанных минеральных масел, полученного путем смешения масел извлеченных из картеров автомобилей с искровым зажиганием (образец 1), а также автомобилей, работающих на дизельном топливе – автобусов (образец 2) и грузовых тягачей (образец 3 с добавкой отработанного масла из коробки передач). Масла очищались традиционными способами, а после этого были подвергнуты разгонке на отдельные фракции, данные которой приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика различных образцов исходного сырья и ряд их физико-химических свойств после разгонки и последующей очистки

Показатели	Образцы		
	1	2	3
Фракционный состав, %, °С:			
н. к.	180	362	419
5% выкипает при температуре	186	426	437
10% выкипает при температуре	192	447	458
20% выкипает при температуре	197	464	476
30% выкипает при температуре	203	473	498
40% выкипает при температуре	209	484	513
50% выкипает при температуре	215	500	520
60% выкипает при температуре	223	515	—
70% выкипает при температуре	228	531	—
80% выкипает при температуре	231	547	—
90% выкипает при температуре	238	552	—
к.к.	254/96	556/88	520/58
Плотность ρ_4^{20}	0,8197	0,8462	0,8561
Температура застывания, С°	Ниже 60	Ниже 57	Ниже 52
Химический состав, % мас.:			
ароматические	0,4	31,4	4,1
парафинафтендовые	99,6	66,1	93,5
асфальто-смолистые	—	2,5	2,4

Первый образец представлял собой фракцию, выкипающую в пределах 180–254 °С. Ввиду высокого содержания ароматических углеводородов (до 17% мас.) фракция была подвергнута адсорбционной очистке в растворе пропана. В качестве адсорбента использовался носитель алюмо-

силикатного катализатора крекинга, применяющийся при производстве промышленного образца цеолитсодержащего катализаторов. После адсорбционной очистки содержание ароматических углеводородов в указанной фракции снизилось до 0,4% мас., а содержание парафинонафтеновых углеводородов повысилось до 99,6% мас.

Второй образец исходного сырья после разгонки представлял собой нефтепродукт, выкипающий в пределах 362–556 °С. После проведенного химического анализа было установлено, что разогнанная фракция характеризовалась сравнительно высоким содержанием малокольчатых и многокольчатых ароматических соединений – 31,4 % мас.

Третий образец представлял собой высококипящий продукт, выкипающий до 520 °С только на 58% и состоящий на 93,5% мас. из парафинонафтеновых углеводородов (см. табл. 1).

В дальнейшем все полученные образцы были подвергнуты окислению на стандартной опытной установке с применением в качестве катализатора перманганата калия [6].

Таблица 2. Характеристика оксидатов

Функциональные числа	Образец		
	1	2	3
Кислотное число, мг КОН/мг.	65	56	35
Эфирное число, мг КОН/мг.	58	59	66
Число омыления, мг КОН/мг.	120	110	90
Карбонильное число, мг КОН/мг.	53	41	38
Йодное число, г I ₂ /100 г.	3	5	7

Полученные оксидаты, характеристика которых приведена в табл. 2, омыляли 25%-ным водным раствором едкого натра при температурах от 90 до 95 °С в течение 3-х часов. После этого в первом образце путем отстоя были отделены неомыляемые вещества. Во втором и третьем образцах неомыляемые не отделялись, поскольку при отстое четкого расслоения этих продуктов не наблюдалось.

Полученные продукты были опробованы в качестве добавок при обезвоживании флотоконцентратов на углеобогатительной фабрике.

Добавка продуктов проводилась в виде 2,5 %-ных водных смесей в различных количествах. Результаты опробования показали, что добавление первого образца в количестве 4 кг на 1 т твердого угля увеличило скорость фильтрации в 2,6 раза, при абсолютном снижении влажности на 4,4% (табл. 3). При применении второго образца аналогичная скорость фильтрации была достигнута при расходе 1 кг продукта на 1 т, причем снижение влажности составило 5,7%. Применение третьего образца в этом же количестве снизило влажность только на 2,4% без увеличения скорости фильтрации.

Таблица 3. Результаты опытов по обезвоживанию флотоконцентратов с добавкой различных реагентов

Реагент	Расход реагента		Конечная влажность, %	Абсолютное снижение влажности, %	Время фильтрования, с
	кг/т	кг/м ³			
Образец 1 (2,5%-ный раствор)	0,5	0,2	21,4	0,6	30
	0,7	0,28	20,2	1,8	20
	1,0	0,4	18,5	3,5	20
	2,0	0,8	19,6	2,4	20
	3,0	1,2	17,6	3,4	15
	4,0	1,6	18,8	3,8	15
	5,0	1,8	17,7	4,4	35
Образец 2 (2,5%-ный раствор)	0,5	0,2	17,9	4,1	15
	1,0	0,4	16,2	5,4	15
	2,0	0,8	16,5	5,5	15
	3,0	1,2	16,8	5,6	15
	4,0	1,6	17,2	5,7	35
Образец 3 (2,5%-ный раствор)	0,5	0,2	21,8	0,3	20
	1,0	0,4	21,6	0,5	20
	2,0	0,8	21,5	0,6	20
	3,0	1,2	20,6	1,5	20
	4,0	1,6	21,6	1,3	20
	5,0	1,8	21,1	2,4	20

Результаты испытаний трех полученных реагентов показали, что наибольший эффект обезвоживания получен при добавке образца 2 в количестве не менее 1 кг на 1 т флотоконцентрата. При этом абсолютное снижение влажности достигает 5,4%, а скорость фильтрации увеличивается в 2,6 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Производство кокса. URL: <https://metalspace.ru/education-career/osnovny-metal-lurgii/koks/1598-podgotovka-uglej.htm>
2. Nftegaz. URL: <https://neftegaz.ru/news/coal/716571-spros-na-ugol-v-2022-g-mozhet-dostich-istoricheskogo-maksimuma-v-2022-g/>
3. Гаркушин, Ю.К. Современное состояние теории механического обезвоживания и методов его интенсификации // Збагачення корисних копалин. Наук. техн. зб. 2001. Вип. 12 (53). С. 39–47.
4. Козлов В. А. Обезвоживание угольного шлама в фильтрующих центрифугах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 3. С. 166-171.
5. Благова И.С. Справочник по обогащению углей: справочник / под ред. И. С. Благова, А. М. Коткина, Л. С. Зарубина; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1981. 615 с.
6. Соловьев В. В. Жидкофазное окисление жирных кислот C₁₈ и их метиловых эфиров // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2001. Т. 44, вып. 3. С. 35–49.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ И ВЫБОР УСЛОВИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

М.А. Червочкин, Д.Р. Погодин, А.В. Пичугина, В.В. Соловьев

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

Ярославский государственный технический университет

В работе использованы различные растительные масла технического назначения, а также этиловый спирт, полученный из борщевика Сосновского для синтеза биодизельного топлива, находящего широкое применение в качестве альтернативы нефтяного дизельного топлива. Проведенные исследования положены в основу лабораторного практикума по альтернативным источникам углеводородного сырья для химической промышленности, специальностей ХТОВ, ХТУМ, ХТХ.

Ключевые слова: *технические растительные масла, этиловый спирт, биодизельное топливо, перестерификация.*

THE USE OF VARIOUS VEGETABLE OILS AND THE CHOICE OF CONDITIONS FOR THE PRODUCTION OF BIODIESEL

M.A. Chervochkin, D.R. Pogodin, A.V. Pichugina, V.V. Soloviev

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

Yaroslavl State Technical University

The work uses various vegetable oils for technical purposes, as well as ethyl alcohol obtained from Sosnovsky hogweed for the synthesis of biodiesel, which is widely used as an alternative to petroleum diesel fuel. The conducted research is the basis for a laboratory workshop on alternative sources of hydrocarbon raw materials for the chemical industry, specialties HTOV, HTUM, HTH.

Keywords: *technical vegetable oils, ethyl alcohol, biodiesel, transesterification.*

В последнее время все более широкое применение в качестве топлива для дизельных и иных двигателей находят биотоплива, произведенные из растительного сырья – технических растительных масел. Это объясняется простотой и экологичностью процесса получения как самих растительных масел, так и биотоплив на их основе. Немаловажным фактором является их сравнительно невысокая стоимость и приемлемая воспроизводимость, а также хорошая воспламеняемость в камерах сгорания

двигателя при низких температурах в условиях крайнего севера, экологичность и простота технологии получения [1].

Биотопливо представляет собой сложные алифатические эфиры низкомолекулярных спиртов C_1 - C_4 и жирных кислот C_{14} - C_{18} , содержащихся практически во всех видах технических масел растительного и животного происхождения с качеством дизельного топлива, производимый из масла растительного или животного происхождения и используемый в качестве биотоплива.

Главным недостатком растительного сырья является высокая энергоемкость общего производственного цикла (от посева, сбора урожая, его первичной переработки до производства самого биотоплива), поэтому при выборе сырья для производства биотоплива необходимо учитывать экономические показатели производства того или иного технического масла растительного или животного происхождения. До сих пор стоимость биодизеля была равна стоимости нефтяного дизельного топлива, однако в связи с общим мировым экономическим кризисом 2022 года цены на традиционное нефтяное топливо возросли в два раза. В то время как себестоимость возобновляемого растительного сырья сельскохозяйственного производства осталась на прежнем уровне. Это позволяет надеяться на то, что в ближайшем будущем в Российской Федерации биотопливо займет соответствующую экономическую нишу в топливном энергетическом комплексе [2].

В настоящей работе для получения биодизельного топлива были исследованы образцы различных технических растительных масел: оливкового, рапсового, подсолнечного, сурепного. В них были определены основные показатели – кислотное число, число омыления, йодное число, содержание воды, механические примесей, soapстоков и углеводородный состав с помощью хроматографического метода.

Для проведения процесса синтеза биотоплива способом преетерификации технических растительных масел была использована четырехгорлая круглодонная колба, снабженная интенсивным перемешивающим устройством, обратным холодильником, термометром и проботборником.

В качестве катализаторов процесса использовались щелочные катализаторы NaOH и KOH с концентрацией от 0,15 до 0,35 % мас от загрузки всех продуктов синтеза. В основе базового спирта применялся этанол, полученный путем сбраживания сахаросодержащей биомассы борщевика Сосновского [3]. Спирт брался в мольном избытке от 2,5 до 8 по отношению к загруженному техническому растительному маслу. Время проведения процесса выбиралось от 1 часа до 5 часов. Температура процесса изменялась от 50 до 75 градусов. В этих условиях было проведено более 30 опытов при варьировании всех вышеобозначенных параметров процесса.

В большинстве случаев после проведения процесса образовывались двух, трех и даже четырехслойные системы, которые разделялись и

анализировались весовым методом для составления общего материально-го баланса процесса.

На практике, при исследовании различных технических растительных масел в отношении получения на их основе биодизельного топлива, все они загружались в четырехгорлую круглодонную колбу, которая помещалась в водяную баню с электрообогревом. Во всех случаях загрузка составляла (50 ± 2) г. Этиловый спирт с концентрацией 97-98% который был получен путем абсолютизации спирта-сырца [4], во всех случаях брался в мольном избытке. Соотношение растительное масло : этиловый спирт варьировалось от 1:2,5 до 1:8. Предварительно в него загружалось расчетное количество катализатора (NaOH или KOH), которое выдерживалось при температуре 45-60 градусов в течение 1 часа при перемешивании для получения катализаторного раствора — этилата калия или этилата натрия. Затем катализаторный раствор загружался в четырехгорлую колбу, температура в которой поддерживалась от 40 до 76 °C, с варьированием температуры ± 5 °C. Время реакции изменялось от 1 до 5 часов в зависимости от температуры проведения процесса (при 40 °C – 5 ч, а при 76 °C время составляло 1ч).

После проведения процесса и охлаждения реакционной массы до 30 °C все образцы растительных масел, которые превращались в этиловые эфиры, перемещались в делительную воронку, где смесь подвергалась расслаиванию в течение 20 часов. После расслаивания делилась на несколько слоев, в каждом из них было диагностировано наличие непрореагировавшего этилового спирта, который по заданию всегда брался в мольном избытке. Как правило, продукты реакции разделяются в делительной воронке на два слоя. Нижний – тяжелый глицериновый (более темный) и верхний – эфирный, практически прозрачный, светло-желтого цвета [5]. В некоторых случаях после синтеза, наблюдается образование трех и даже четырех слоев. Вероятно образование таких слоев происходит за счет того, что в исходном растительном масле могут присутствовать соапстоки, которые, обладая поверхностно-активными свойствами, могут способствовать образованию трехслойной системы. При использовании в качестве исходного сырья рапсового, соевого и хлопкового масла реакционная масса может разделяться на четыре слоя. Это говорит о том, что в таких образцах растительных масел помимо соапстоков присутствует значительное количество фосфолипидов, обладающих способностью экстрагировать избыточный этиловый спирт и образовывать отдельный четвертый слой. Таким образом было установлено, что при использовании различных технических растительных масел после процесса переэтерификации смесь может разделяться на несколько углеводородных слоев, в каждом из которых в обязательном порядке присутствует непрореагировавший этиловый спирт, который брался в избытке.

Каждый слой отделялся, взвешивался и анализировался на содержание избыточного этилового спирта. Анализ проводился весовым мето-

дом, который заключался в определении массы отогнанного избыточного этилового спирта в каждом из отобранных слоев. Для этого избыток этанола, с предварительно добавленными кипелками, испарялся в химическом стакане, а оставшийся остаток после взвешивания определялся как один из продуктов процесса получения биодизельного топлива. Каждый слой констатировался как реакционный глицерин, непрореагировавшее растительное масло, катализатор процесса и собственно этиловые эфиры жирных кислот, являющиеся биодизельным топливом. Сумма отогнанного этилового спирта и сумма испарившейся воды (присутствующая в исходном спирте и маслах) определялась как непрореагировавшие продукты синтеза, а по разнице загруженного и отогнанного этилового спирта находилась степень его превращения. Значение степени превращения этилового спирта в процессе переэтерификации давала возможность рассчитать выход глицерина, этиловых эфиров и непрореагировавшего растительного масла. Дальнейшие хроматографические исследования, проведенные на хроматографе с пламенно-ионизационным детектором, позволили рассчитать углеводородный состав этиловых эфиров, который для различных исходных масел хоть несколько и различался по составу, однако по основным компонентам биодизельного топлива: этиловым эфирам, олеиновой и линолевой кислоты был достаточно стабилен.

Данные исследования были положены в основу лабораторного практикума по альтернативным источникам углеводородного сырья для химической промышленности для специальностей ХТОВ, ХТУМ, ХТХ дневного и заочного отделения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Девянин С.Н.* Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. Харьков: Новое село, 2007. 452 с.
2. Альтернативное растительное сырье для производства биодизеля / С.М. Каленская [и др.] // Изв. Тимирязевской с/х акад. 2013. № 6. С. 31-39
3. Рациональное использование биоресурсов борщевика Сосновского / О.В. Вахромеева, Н.В. Гасанова, В.В. Соловьев, А.В. Павлов, В.В. Губич // Путь в науку. Актуальные проблемы биологии, экологии и химии: тез. докл. конф. / сост. С.Н. Леднев; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова. Ярославль: ЯрГУ, 2020. 68 с.
4. *Кузнецова Е.Д.* Исследование процессов получения и абсолютизации этилового спирта для фармацевтической промышленности и промышленности органического синтеза / Е.Д. Кузнецова, Н.В. Гасанова, В.В. Соловьев // Всерос. конф. с междунар. участием «Проблемы и инновационные решения в химической технологии» (ПИРХТ-2019), 7-9 октября 2019 г., г. Воронеж. Воронеж, 2019. С. 93-94.
5. *Виноградова, А.В.* Биотехнология топлива: учеб. пособие / А.В. Виноградова, Г.А. Козлова, Л.В. Аникина. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. 212 с.

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ С ПРЯМОТОЧНО-ВИХРЕВЫМИ КОНТАКТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Н.А. Эргашев, Б.Н. Мамарасулов, Й.Ю. Сайдалиев

Научный руководитель – **Н.А. Эргашев**, д-р техн. наук, доцент

Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье представлены результаты экспериментального исследования по определению гидравлического сопротивления в устройстве, в котором контактный элемент генерирует вращающийся поток, и изучению его влияния на эффективность очистки. На основании экспериментального исследования значения коэффициента сопротивления предложено уравнение для определения коэффициента сопротивления контактного элемента устройства и включены поправочные коэффициенты. В качестве образцов в установке использовались доломитовая пыль для исследования влияния рабочих органов на поток запыленных газов. На основе оптимальных параметров построены сравнительные графики для различных значений переменных факторов гидравлического сопротивления.

Ключевые слова: расход, контактный элемент, гидравлическое сопротивление, коэффициент сопротивления, доломитовая пыль, поток газа, пленка жидкости, угол отсчета, лопасть, эффективность очистки

HYDRAULIC RESISTANCE OF DUST COLLECTOR WITH DIRECT-FLOW-VORTEX CONTACT ELEMENTS

N.A. Ergashev, B.N. Mamarasulov, Y.Y. Saydaliyev

Scientific Supervisor – **N.A. Ergashev**, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor

Fergana Polytechnic Institute, Uzbekistan

In the article, the results of an experimental study to determine the hydraulic resistance in a device in which the contact element generates a rotating current and to study its effect on the cleaning efficiency were presented. The equation for determining the resistance coefficient of the contact element of the device was recommended and the correction coefficients were included, on the basis of which the values of the resistance coefficient was determined experimentally. Dolomite dust was used as samples in the

installation to study the effect of working bodies on the flow of dusty gases. Comparative graphs were constructed for different values of variable factors of hydraulic resistance and its effect on cleaning efficiency and based on optimal parameters.

Keywords: flow rate, contact element, hydraulic resistance, resistance coefficient, dolomite dust, gas flow, liquid film, reference angle, blade, cleaning efficiency

Для эффективного проведения технологических процессов на промышленных предприятиях запыленные газы и воздух необходимо очищать от пыли. Смесители, диспергаторы и большинство метаболических устройств не могут нормально функционировать без эффективных схем удаления газов и пыли [1,2].

С целью изучения влияния гидравлического сопротивления разработанного устройства на эффективность очистки и энергозатраты теоретически и экспериментально исследованы его гидродинамические режимы. На рис. 1 представлена расчетная схема устройства.

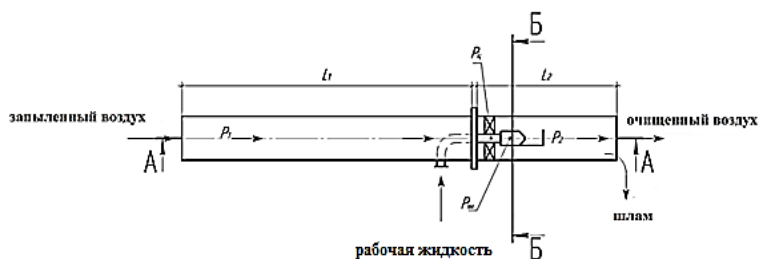


Рис. 1. Расчетная схема рабочего элемента

В теоретических исследованиях полное гидравлическое сопротивление, влияющее на поток запыленного газа, движущегося в устройстве, в котором контактный элемент генерирует вращающийся поток, можно записать с использованием расчетных уравнений, приведенных в литературе [4, 8] и по схеме расчета устройства для сечения А–А, Па:

$$\Delta P = P_1 + P_2 \quad (1)$$

где ΔP – общие гидравлическое сопротивление установки, Па;

P_1 – гидравлическое сопротивление при входе запыленных газов в аппарат и до завихрительного контактного элемента. P_1 – можно определить по следующей формуле, Па;

$$P_1 = \xi_1 \frac{v_1^2 \rho_{см}}{2} \quad (2)$$

где v_1 – скорость газа при входе в аппарат до завихрительного контактного элемента; ξ_1 – местное гидравлическое сопротивление газа при входе в аппарат и дозавихрительного контактного элемента.

$$\xi_1 = \lambda \frac{l}{d_3}, \quad (3)$$

где l – длина трубы, м; d_3 – эквивалентный диаметр трубы, м; λ – коэффициент Дарси, который определяется по следующему уравнению:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}, \quad (4)$$

в этом случае уравнение (3) выглядит как

$$\xi_1 = \frac{0,3164l}{d_3^4 \sqrt{\text{Re}}}. \quad (5)$$

Подставляя уравнение (5) в уравнение (2), получаем следующее уравнение, Па:

$$P_1 = \frac{0,3164lv_1^2 \rho_{см}}{2d_3^4 \sqrt{\text{Re}}}, \quad (6)$$

Гидравлическое сопротивление P_2 на контактном завихрительном элементе аппарата, определяется по следующей формуле, Па:

$$P_2 = \xi_2 \frac{v_2^2 \rho_{см}}{2}, \quad (7)$$

где v_2 – потеря скорости газа за счет сопротивления контактного завихрительного элемента, м/с; ξ_2 – коэффициент гидравлического сопротивления контактного завихрительного элемента, определяется опытным путём; $\rho_{см}$ – плотность смеси пыли и газа, которая определяется следующим уравнением, кг/м³:

$$\rho_{см} = \rho_z + (\rho_{пыль} \cdot \gamma), \quad (8)$$

где $\rho_{см}$ – плотность пыли, кг/м³; ρ_z – плотность воздуха, кг/м³; γ – количество пыли, содержащейся в воздухе, %.

Подставляя уравнения (6) и (7) в уравнение (1), уравнение для определения полного гидравлического сопротивления устройства (Па) определяется как

$$\Delta P = \frac{0,3164lv_1^2 \rho_{см}}{2d_3^4 \sqrt{\text{Re}}} + \xi_2 \frac{v_2^2 \rho_{см}}{2}. \quad (9)$$

С помощью полученного уравнения (9) можно определить полное гидравлическое сопротивление в устройстве.

Определение коэффициента сопротивления ζ_2 в уравнении (9) сложно и требует упрощения.

В этом случае было получено следующее уравнение для определения коэффициента сопротивления по отношению общей площади лопастей контактного элемента к токопроводящей поверхности, и был введен поправочный коэффициент.

$$\Delta k \frac{4\pi R^2}{nab \sin \beta}, \quad (10)$$

где n – количество лопастей; a, b – длина стороны лопастей; β – угол наклона открытой поверхности, через которую газовый поток проходит на контактный элемент; Δk – поправочный коэффициент, определяемый экспериментально.

Из этого уравнения видно, что увеличение угла наклона открытой поверхности между лопастями контактного элемента приводит к уменьшению коэффициента сопротивления.

На основании вышеуказанных факторов, изменяя уравнение (9), можно будет определить полное гидравлическое сопротивление устройства следующим образом, Па:

$$\Delta P = \frac{0,3164 l v_1^2 \rho_{см}}{2d_3 \sqrt[4]{\text{Re}}} + \Delta k \frac{2\pi R^2 v_2^2 \rho_{см}}{nab \sin \beta}. \quad (11)$$

Общее гидравлическое сопротивление, влияющее на жидкость в сечении *Б-Б* аппарата, Па, может записывать в следующем виде:

$$\Delta P_{жид} = P_m + P_{ш}, \quad (12)$$

где P_T – геометрическое давление в трубе, Па, где движется жидкость определяется следующим уравнением:

$$P_k = \rho g H, \quad (13)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; H – высота уровней жидкости, м.

Плотность жидкости $P_{ш}$, Па, потерянная через отверстие, которое определяется уравнением Дарси-Вейсбаха:

$$P_{ш} = \zeta_{ш} \frac{g_c^2 \cdot \rho_c}{2}, \quad (14)$$

где v_c – скорость течения жидкости через отверстия; м/с; $\xi_{ш}$ – коэффициент сопротивления при течении жидкости через отверстие, зависит от толщины отверстия штуцера и диаметра $d_{ш}$ штуцера.

В таком случае для определения скорости жидкости, протекающей через отверстие аппарата, применяем уравнение Бернулли и предполагаем, что давление в трубе P_k и давление в отверстии пробки равны. Без него уравнение (12) можно записать следующим образом, Па:

$$P_{ш} = \xi_{ш} \frac{v_c^2 \cdot \rho_c}{2}. \quad (15)$$

Из полученного уравнения (15) определим скорость движения жидкости, м/с:

$$v_c = \sqrt{\frac{2gH}{\xi_{ш}}}, \quad (16)$$

Из (16) уравнения можно определить расход жидкости, протекающей через шунтирующее отверстие устройства, м³/ч;

$$Q_c = 3600\pi R^2 \sqrt{\frac{2gH}{\xi_{ш}}}. \quad (17)$$

Результаты экспериментов. Значения переменных факторов для определения гидравлического сопротивления устройства: расход жидкости $Q_{жс} = 0,07 \div 0,253$; $0,071 \div 0,295$; $0,072 \div 0,327$ м³/ч, диаметр патрубка $d_{ш} = 2$; 2,5 и 3 мм, скорость газа $v_g = 7,07$ м/с до 28,37 м/с, промежуточный шаг 4 м/с, наклон рабочего тела контактного элемента, придающий подвижность движению расход газа $\alpha = 45^\circ$ [5,7].

В экспериментах использовалась доломитовая пыль. Проведены лабораторные исследования для определения дисперсного состава пыли [11, 14, 16]. По их результатам рассчитана плотность смеси пыли доломита и газа $\rho_{смес} = 2,13$ кг/м³. На 1 м³ воздуха по ГОСТ-23672-79 для доломитовой пыли 360,3 мг/м³ [7].

В устройстве коэффициент местного сопротивления на расстоянии от впускного патрубка запыленного газа до устройства и контактного элемента, образующего катушку, принят равным 0,7 [4]. Коэффициент сопротивления в контактном элементе определялся экспериментально для различных значений переменных факторов. Соответственно, угол наклона поверхности, через которую проходит поток газа $\sin\beta = 45^\circ$, коэффициент сопротивления контактного элемента при $\xi = 1,3$ и поправочный коэффициент $\Delta k = 0,81$. В случае $\sin\beta = 45$, общий коэффициент сопротивления устройства – угол наклона поверхности, через которую проходит поток газа, равен 2,0.

Опыты по определению гидравлического сопротивления устройства проводились в один этап. На первом этапе исследовали влияние смеси пыли доломитовой и воздуха на гидравлическое сопротивление устройства. Результаты экспериментов представлены на рис. 2.

На рис. 2 показано влияние смеси газа и доломитовой пыли на гидравлическое сопротивление. Данные показывают, что скорость газа $v_z = 7,07 \div 28,37$ м/с с промежуточным шагом 4 м/с и минимальной и максимальной нагрузкой гидравлического сопротивления для уклона рабочего тела $\alpha = 30^\circ; 45^\circ; 60^\circ$. Для контактного элемента, движущегося в потоке газа, минимальные значения расхода жидкости $d_{ш} = 2$ мм, $Q_{жс} = 0,07$ м³/ч – const, для $\Delta P_{н.жс} = 749$ Па увеличены до 1036 Па. Промежуточный шаг составил $\Delta P_{н.жс} = 134$ Па между значениями $\alpha = 30^\circ$ и 45° рабочей поверхности, а $\Delta P_{н.жс} = 153$ Па между значениями $\alpha = 45^\circ$ и $\alpha = 60^\circ$. $d_{ш} = 2,5$ мм, $Q_{жс} = 0,071$ м³/ч – const для $\Delta P_{н.жс} = 787-1088$ Па. Промежуточный шаг составлял $\Delta P_{н.жс} = 142$ Па между значениями рабочей поверхности $\alpha = 30^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$, а значения между $\alpha = 45^\circ$ и $\alpha = 60^\circ$ составляли $\Delta P_{н.жс} = 159$ Па и $d_{ш} = 3$ мм, $Q_{жс} = 0,072$ м³/ч. Увеличение $\Delta P_{н.жс} = 826$ Па до 1140 Па наблюдалось при – const. Промежуточный шаг составил $\Delta P_{н.жс} = 149$ Па между значениями $\alpha = 30^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$ рабочей поверхности, а $\Delta P_{н.жс} = 165$ Па между значениями $\alpha = 45^\circ$ и $\alpha = 60^\circ$.

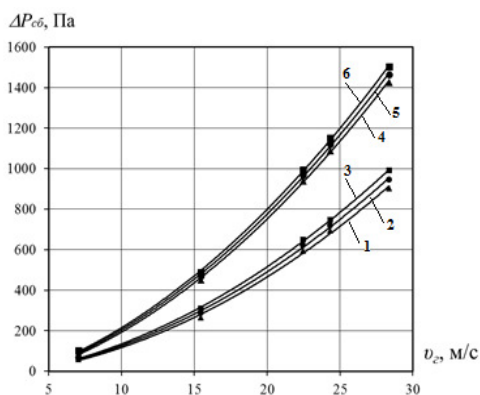


Рис. 2. Зависимость гидравлического сопротивления устройства подачи жидкости $\Delta P_{н.жс}$ от скорости газа v_z (опорный угол контактного элемента, перемещающего поток газа 45° и $\rho_z = 2,13$ кг/м³ – const):

- 1 – $d_{ш} = 2$ мм, $Q_{жс} = 0,07$ м³/ч; 2 – $d_{ш} = 2,5$ мм, $Q_{жс} = 0,071$ м³/ч;
- 3 – $d_{ш} = 3$ мм, $Q_{жс} = 0,072$ м³/ч; 4 – $d_{ш} = 2$ мм, $Q_{жс} = 0,253$ м³/ч;
- 5 – $d_{ш} = 2,5$ мм, $Q_{жс} = 0,295$ м³/ч; 6 – $d_{ш} = 3$ мм, $Q_{жс} = 0,327$ м³/ч

Наблюдались высокие нагрузки гидравлического сопротивления, увеличение $\Delta P_{н.жс} = 1240$ Па до 1615 Па при максимальных значениях расхода жидкости $d_{ш} = 2$ мм, $Q_{жс} = 0,253$ м³/ч – const. Промежуточный шаг

составил $\Delta P_{п.жс} = 188$ Па между значениями $\alpha = 30^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$ рабочей поверхности, а $\Delta P_{п.жс} = 187$ Па между значениями $\alpha = 45^\circ$ и $\alpha = 60^\circ$. $d_{ш} = 2,5$ мм, $Q_{жс} = 0,295$ м³/ч – const для $\Delta P_{п.жс} = 1275$ Па до 1656 Па. Промежуточный шаг составлял $\Delta P_{сб} = 192$ Па между значениями $\alpha = 30^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$ рабочей поверхности, в то время как $\Delta P_{п.жс} = 189$ Па между $\alpha = 45^\circ$ и $\alpha = 60^\circ$, и $d_{ш} = 3$ мм, $Q_{жс} = 0,327$ м³/ч и увеличение в $\Delta P_{п.жс} = 1312$ Па до 1697 Па наблюдалось при – const. Промежуточный шаг составил $\Delta P_{п.жс} = 195$ Па между значениями $\alpha = 30^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$ рабочих поверхностей, а $\Delta P_{п.жс} = 190$ Па между значениями $\alpha = 45^\circ$ и $\alpha = 60^\circ$.

Следующие эмпирические формулы были получены с использованием метода наименьших квадратов для графических зависимостей, показанных на рис. 2 [7, 8].

Из экспериментов, проведенных для определения гидравлического сопротивления и изучения его влияния на эффективность очистки, можно сделать вывод, что увеличение опорного угла контактного элемента, движущегося в потоке газа в устройстве, приводит к утолщению жидкого слоя пленки. Но это привело к уменьшению рабочей поверхности. И наоборот, уменьшение опорного угла приводит к утончению жидкого слоя пленки и увеличению рабочей поверхности. Это, в свою очередь, привело к увеличению гидравлического сопротивления. Кроме того, изменение скорости и плотности газа, подаваемого в устройство, также существенно влияет на гидравлическое сопротивление. В результате увеличения гидравлического сопротивления повысилась эффективность очистки, но увеличилось потребление энергии, используемой для очистки запыленного газа. Поэтому важно достичь максимальной эффективности очистки при минимальных значениях гидравлического сопротивления [8, 9]. При проектировании промышленного варианта устройства рекомендуется учитывать средний размер пыли, выделяемой промышленными предприятиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вальдберг А.Ю.* Процессы и аппараты защиты окружающей среды / А.Ю. Вальдберг, Н.Е. Николайкина. М.: Драфа, 2008. В 239с.
2. *Сугак Е.В.* Очистка газовых выбросов в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами // Е.В. Сугак., Н.А. Войнов, И.А. Николаев. Казань: Риц и “Школа”, 1999. 224 с.
3. *Алиматов Б.А.* Контактный элемент в аппарате пылеудаления работающих в витом спутнико-вихревой режиме / Б.А. Алиматов, Н.А. Эргашев, И.Т. Каримов // ФерПИ, научно-технический Вестник. 2019. № 2. 152 с.
4. *Латинов К.Ш.* Гидравлика, гидромашине, гидромашинны. Ташкент: Укитувчи, 1992. С. 75-80.
5. Опытное определение расхода газа, подаваемое на пылеочищающую установку с контактным элементом, работающим в режиме спутникового

- вихря / Н.А. Эргашев, Ш.А. Маткаримов, А.Т. Зияев, Б.Т. Тожибоев, Б.У. Қўчқоров // *Universum*. 2019. № 12 (69). С. 54-58.
6. *Эргашев Н.А.* Экспериментальное определение дисперсного состава пылев, отобранных для отбора проб / Н.А. Эргашев, Б.А. Алиматов, А.А. Ахунбаев // *International scientific conference «global science and innovations 2019: central asia» Astana, Kazakhstan, 2019.* Б. 276-279 с.
 7. ГОСТ Р 51569-2000 Пыль инертная. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2000. 8 с.
 8. *Эргашев Н.А.* Исследование гидравлического сопротивления пылеулавливающего устройства мокрым способом // *Universum: Технические науки.* 2019. № 12 (69). С. 59-62.
 9. *Эргашев Н.А.* Научно-технические основы использования в промышленности аппарата для мокрого пылеулавливания и газоочистки: дис. ... канд. техн. наук. Ташкент, 2021. 116 с.

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА НА УЧЕБНОЙ
ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКЕ**

**В.С. Ясонов, Д.М. Немиров, Т.Р. Елфимов, Б.В. Шведский,
В.К. Леонтьев**

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

Ярославский государственный технический университет

Разработана конструкция устройства для измерения крутящего момента в учебной лабораторной установке по изучению процесса перемешивания. Выполнен гидравлический расчет по определению высоты уровня жидкости в пьезометре.

Ключевые слова: крутящий момент, лабораторная установка, гидроцилиндры, полумуфты, пьезометр.

**A DEVICE FOR MEASURING TORQUE
ON A TRAINING LABORATORY INSTALLATION**

**V.S. Yasonov, D.M. Nemirov, T.R. Elfimov, B.V. Shvedskiy,
V.K. Leontiev**

Scientific Supervisor - **V.K. Leontiev**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The design of a device for measuring torque in an educational laboratory installation for studying the mixing process has been developed. A hydraulic calculation was performed to determine the height of the liquid level in the piezometer.

Keywords: torque, laboratory installation, hydraulic cylinders, coupling halves, piezometer.

Крутящий момент является важнейшим показателем, характеризующим силу вращения вала. В настоящее время для решения этой задачи применяется множество бесконтактных устройств измерения крутящего момента на валу [1].

Крутящий момент – это векторная величина, которая характеризует воздействие силы на физическое тело и вызывает его вращательное движение.

Измерение крутящего момента имеет фундаментальное значение для всех вращающихся тел и применяется для вращения валов во многих устройствах, таких как насосы, вращательное режущее оборудование, валы коробок передач, оси транспортных средств и электродвигатели. Измерение крутящего момента также является необходимой частью измерения мощности, передаваемой вращающимися валами [2].

Существуют различные способы измерения крутящего момента. В целом измерение крутящего момента можно разделить на две группы: прямое и косвенное измерение крутящего момента.

Прямые методы заключаются в измерении некоторых физических величин (обычно упругой деформации), которые изменяются в зависимости от значения крутящего момента. После калибровки детектор выдает непосредственно значение крутящего момента.

Косвенные методы заключаются в измерении физических величин, изменение которых может быть рассчитано в крутящий момент. Это может быть, например, измерение силы, действующей на рычаг, длина которого известна, или измерение тока и скорости вращения электрического двигателя. Часто этот вид косвенного измерения крутящего момента может быть более быстрым, простым и достаточно точным в промышленных условиях по сравнению с прямыми методами.

На представленной лабораторной установке по исследованию процесса механического перемешивания устройство для измерения крутящего момента представляет собой две полумуфты, связанные между собой упругим элементом - пружиной. При работе перемешивающего устройства, крутящий момент, пропорциональный деформации упругого элемента, определяется по относительному смещению полумуфт. Это относительное смещение отградуировано в единицах крутящего момента и считывается стробоскопом.

Однако такое устройство имеют ряд существенных недостатков:

- 1) высокая стоимость;
- 2) сложность конструкции из-за наличия большого числа дополнительных элементов (стробоскопа).

Целью, проводимых авторами исследований, является разработка упрощенного устройства для измерения крутящего момента без использования стробоскопа.

На рис. 1 представлено устройство для измерения крутящего момента.

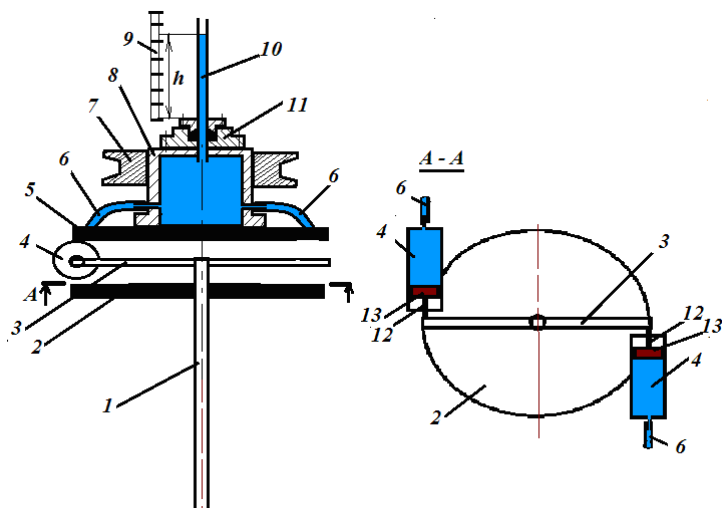


Рис. 1. Устройство для измерения крутящего момента:

1 – вал; 2 – нижняя полумуфта; 3 – рычаг; 4 – гидроцилиндры;
 5 – верхняя полумуфта; 6 – гибкие трубки; 7 – шкив; 8 – емкость для подкрашенной жидкости; 9 – неподвижная шкала; 10 – пьезометр;
 11 – сальниковое уплотнение; 12 – штоки; 13 – поршни

При передаче крутящего момента от шкива 7 к валу 1 происходит смещение верхней 5 и нижней 2 полумуфт. За счет давления рычага 3 на штоки 12 поршней 13 гидроцилиндров 4 в жидкости создается избыточное давление, которое рассчитывается:

$$p = \frac{F}{S},$$

где F – сила давления рычага на поршень, Н; S – площадь поперечного сечения поршня, м^2 .

Сила F через крутящий момент может быть определена:

$$F = \frac{M}{l},$$

где M – передаваемый крутящий момент, Н·м; l – длина рычага (плечо действующей силы), м.

Гидроцилиндры с помощью гибких трубок 6 соединены с емкостью для подкрашенной жидкости 8. Пренебрегая изменением гидростатического давления, в емкости для подкрашенной жидкости создается такое же давление, что и в гидроцилиндрах.

Это давление измеряется с помощью пьезометра 10, который закреплен в емкости для подкрашенной жидкости с помощью сальникового уплотнения 11. При этом пьезометр вращается вместе с верхней полушфтой. Уровень жидкости в пьезометре h визуальнo фиксируется с помощью неподвижной шкалы 9. Величина h определяется по выражению

$$h = \frac{p}{\rho g},$$

где ρ - плотность подкрашенной жидкости, кг/м³; g - ускорение свободного падения, м/с².

По опыту работы на учебной лабораторной установке «Исследование процесса перемешивания» диапазон изменения крутящего момента составляет от 0,05 до 0,3 Н·м.

Для измерения крутящего момента на устройстве предлагается установить гидроцилиндры диаметром 32 мм, а длину рычага выбрать 0,1 м.

Тогда уровень жидкости в пьезометре изменяется в пределах от 6,38 до 38,27 см.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гапонов В.Л.. Измерение крутящего момента на вращающихся валах / В.Л. Гапонов, А.С. Гуринов, В.В. Дудник // Вестник Донского гос. техн. ун-та. 2012. № 1-2 (62). С. 25-32.
2. Моррис А.С. Измерения и приборостроение: Теория и применение / А.С. Моррис, Лангари Р. США: Хейтон Дж., 2015. С. 557.

УДК 547.791.8

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИНТЕЗ 1-(2,4-ДИНИТРОФЕНИЛ)БЕНЗОТРИАЗОЛА

Л.В. Лобанова, Р.С. Бегунов

Научный руководитель – **Р.С. Бегунов**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова

Разработан эффективный способ синтеза 1-(2,4-динитрофенил)бензотриазола. Для увеличения селективности реакции 2,4-динитрохлорбензола с бензотриазолом использовался неполярный апротонный растворитель. Активация реакционной системы осуществлялась ультразвуком.

Ключевые слова: ультразвуковая активация, 2,4-динитрохлорбензол, бензотриазол, 1-(2,4-динитрофенил)бензотриазол

ULTRASONIC SYNTHESIS OF 1-(2,4-DINITROPHENYL)BENZOTRIAZOLE

L.V. Lobanova, R.S. Begunov

Scientific Supervisor - **R.S. Begunov**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

P.G. Demidov Yaroslavl State University

An efficient method for the synthesis of 1-(2,4-dinitrophenyl)benzotriazole has been developed. To increase the selectivity of the reaction of 2,4-dinitrochlorobenzene with benzotriazole, a nonpolar aprotic solvent was used. The reaction system was activated by ultrasound.

Keywords: ultrasonic activation, 2,4-dinitrochlorobenzene, benzotriazole, 1-(2,4-dinitrophenyl)benzotriazole

1-(2,4-Динитрофенил)бензотриазол является перспективным сырьем для получения различных биологически активных и энергоемких материалов [1-3]. Самым простым и удобным способом его синтеза представляется реакция S_NAr бензотриазола (**1**) с 2,4-динитрохлорбензолом (**2**). Однако, проблемой связанной с его реализацией является образование 2-х продуктов: 1- и 2-замещенных бензотриазолов (схема 1, соединения **3** и **4**, соответственно).

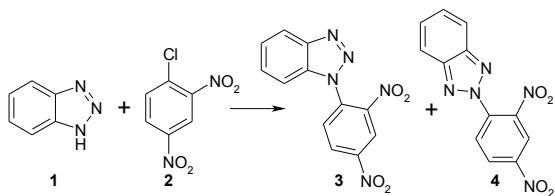


Схема 1

Для решения этой проблемы разные авторы предлагают использовать различные подходы. Анализ этих работ приводится в статье [4]. Хорошие результаты были получены при проведении реакции в толуоле при 110 °С в течение 9 дней. Выход 1-(2,4-динитрофенил)бензотриазола (**3**) составил 96 %.

С целью уменьшения времени процесса в данном исследовании была поставлена серия опытов по изучению влияния природы депротонирующего агента и температуры на выход бензотриазола (**3**) при ультразвуковой активации реакции S_NAr . В качестве депротонирующего агента использовались карбонат калия и трибутиламин. Реакцию проводили в бензоле при 80 °С и в толуоле в интервале температур 80-110 °С. Использовался ультразвуковой реактор с погруженным зондом.

Оказалось, что наиболее подходящими условиями для получения соединения **3** в индивидуальном виде являются: депротонирующий агент – трибутиламин, растворитель – толуол, температура – 110 °С, время реакции 11 ч. Выход 1-замещенного бензотриазола составил 98 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Structure–Performance Relationship in Thermally Stable Energetic Materials: Tunable Physical Properties of Benzopyridotetraazapentalene by Incorporating Amino Groups, Hydrogen Bonding, and π – π Interactions / W.-J. Geng, Q. Ma, Y. Chen, W. Yang, Y.-F. Jia, J.-S. Li, Z.-Q. Zhang, G.-J. Fan, S.-M. Wang // *Crystal Growth & Design*. 2020. Т. 20, № 3. С. 2106-2114.
2. *Katritzky A.R.* A simple, versatile synthetic route to N-1-aryl-,heteroaryl-,acylmethyl-,carboxymethyl-and-alkyl-benzotriazoles via regioselective or highly regioselective substitutions of benzotriazole / A.R. Katritzky, J. Wu // *Synthesis*. 1994. Т. 1994, № 06. С. 597-600.
3. *Yin P.* Dancing with energetic nitrogen atoms: versatile N-functionalization strategies for Nheterocyclic frameworks in high energy density materials / P. Yin, Q. Zhang, J.M. Shreeve // *Acc.Chem. Res*. 2016. 49. P. 4-16.
4. *Santa María M.D.* Synthesis, structure, and isomerism of N-2,4-dinitrophenylbenzotriazoles / M.D. Santa María, R.M. Claramunt, M.A. Garcia, J. Elguero // *Tetrahedron*. 2007. V. 63. № 18. P. 3737-3744.

СЕКЦИЯ «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ»

УДК 66.074.51

УЧЕТ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ЖИДКОСТИ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РОТОРНО-ФИЛЬТРУЮЩЕГО АППАРАТА

А.А. Ахроров,
докторант

Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье приведены результаты анализа физико-химических свойств выбранных абсорбентов для очистки газов при производстве суперфосфатных и аммиачных удобрений. Исследована гидродинамика плёночного слоя жидкости и предложено уравнение для расчета слоя плёнки, образующейся на рабочей поверхности ротора.

***Ключевые слова:** техническая сода, пленочный слой, рабочая жидкость, ротор с фильтрующим покрытием, паронитовое покрытие*

DETERMINATION OF FORMED FLUID LAYER ON THE CONTACT SURFACE OF ROTARY-FILTER APPARATUS

A. Akhrorov,
Postgraduate Student

Fergana Polytechnic Institute, Uzbekistan

The article presents the results of the analysis of the physico-chemical properties of selected absorbents for cleaning gases in the production of superphosphate and ammonia fertilizers. The hydrodynamics of the liquid film layer was studied and an equation was proposed for calculating the film layer generatrix on the working surface of the rotor.

***Keywords:** industrial soda, film layer, working fluid, coated filter material, paronite coating*

В результате измерения расхода жидкости и использования физико-химических свойств абсорбционной жидкости можно определять плотности орошения по следующей формуле [1-3]:

$$\Gamma = \rho_C \frac{n \cdot Q_C}{3600 \cdot \Pi}, \quad (1)$$

где Q_C – расход жидкости, м³/ч; l – смоченный периметр рабочей поверхности, м; ρ_C – плотность жидкости, кг/м³; n – количество распылительной форсунки

Влияние гидродинамики текучей жидкости на рабочую поверхность ротора и образование слоя плёнки значительно, поэтому при выборе формул для расчета толщины слоя плёнки пренебрегают числом Рейнольдса.

$$\text{Re}_{ll} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu}, \quad (2)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с.

Толщину плёнки жидкости, образующейся на рабочей поверхности роторно-фильтрующего аппарата, можно рассчитать с помощью уравнения, предложенного Н.Н.Егоровом и Г.В.Минардом [2]:

$$\delta_{ll} = \sqrt{\frac{3 \cdot \Gamma \cdot \mu_C}{\rho_C^2 \cdot g}}, \quad (3)$$

Определение толщины пленки жидкости по уравнению (3) требует проведения большого количества экспериментов поэтому, в качестве определяющей геометрической величины для критерия Нуссельта при расчете коэффициента массоотдачи используется приведенная толщина плёнки. Для определения коэффициента массоотдачи вещества в жидкой фазе используется следующее теоретическое уравнение для толщины пленки жидкости [1]:

$$\delta_{лнс} = \left(\frac{v_C^2}{g} \right)^{1/3} = \left(\frac{\mu_C^2}{\rho_C^2 \cdot g} \right)^{1/3}, \quad (4)$$

где v – коэффициент кинематической вязкости абсорбента, м²/с.

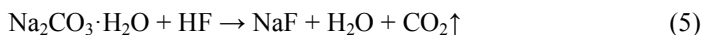
Результаты экспериментов. Опыты проводились в два этапа. В данной работе приведен первый этап эксперимента. На первом этапе были выбраны абсорбенты для нейтрализации газообразного фтороводорода (HF). Вещества в качестве абсорбента подбирались в соответствии с требованиями ГОСТ 5100-85. Водный раствор технической соды (Na₂CO₃) был выбран с учетом растворимости вторичного газообразного фтористого водорода и ее быстрой адаптируемости к активной среде. Для поглощения газообразного аммиака, выходящего после грануляции жидкого аммиака, и с целью возвращения его в технологический процесс выбран абсорбционный раствор аммиачной селитры (NH₄NO₃) в азотной кислоте (HNO₃).

Определялись следующие физико–химические свойства 10-, 20- и 30%-ных водных растворов технической соды (Na_2CO_3): pH и температуру приготовленных абсорбентов определяли с помощью pH/ОВП-метра HANNA, динамическую вязкость – с помощью вискозиметра HAAKE 2plus, плотность – с помощью ареометра АЛТ1840. Значения, полученных результатов измерений, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Физико–химическое свойство водные расворы технической соды

№	Массовая концентрация технической соды в воде, %	pH _{бощ}	μ , мПа*с	ρ , кг/м ³	t , °С
1	10	10,03	1,56	1095	25,3
2	20	10,15	3,5	1200	25,3
3	30	10,20	4,5	1280	25,3

По результатам анализа из уравнения (5) видно, что при поглощении фтористого водорода в водном растворе технической соды образуются вода, раствор фтористого натрия и углекислый газ.



Также составлено и рассчитано уравнение реакции взаимодействия газообразного аммиака с абсорбентом.

На втором этапе эксперимента изучан процесс образования пленочного слоя на рабочей поверхности сетчатого фильтрующего материала (паронита) роторно-фильтрующего аппарата. Общий вид сопла распылительной форсунки рабочей жидкости и материала фильтра (паронит) и поправочный коэффициент Δk , отношение активной поверхности фильтра к пассивной поверхности зависимости $\sum S_{акт}/\sum S_{пас}$ представлены на рис. 1-3 [2; 3].



Рис. 1. Общий вид сопла распылительной форсунки:
 $a - d_{ин} = 1 \text{ мм}$; $б - d_{ин} = 2 \text{ мм}$; $в - d_{ин} = 3 \text{ мм}$

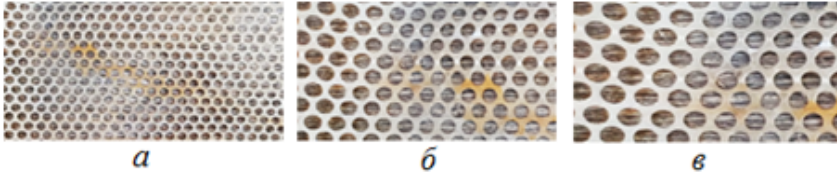


Рис. 2. Общий вид фильтрующего материала (паронит), нанесенного на рабочую поверхность ротора:
 $a - d_{\phi} = 1 \text{ мм}; b - d_{\phi} = 3 \text{ мм}; c - d_{\phi} = 4 \text{ мм}$

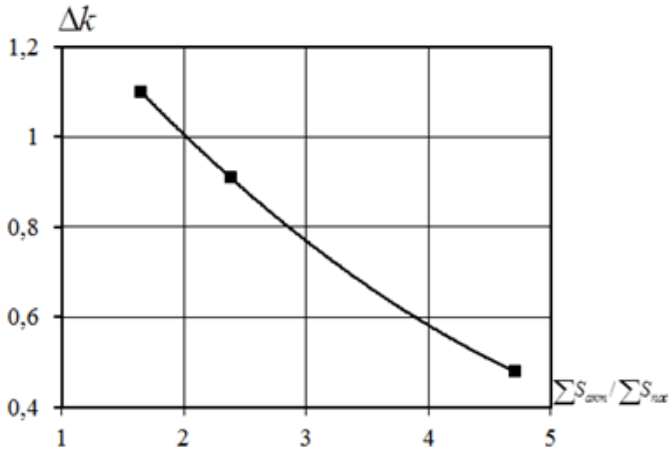


Рис. 3. Зависимость поправочного коэффициента $\Delta \kappa$ от отношения активной поверхности ротора к пассивной

Из рис. 3 видно что, с увеличением активной частей рабочей поверхности ротора повышается значение поправочного коэффициента. В этом случае уравнение для определения толщины пленочного слоя, образующегося на рабочей поверхности ротора, можно записать в следующем виде, мм:

$$\delta_{Пл} = \Delta \kappa \sqrt{\frac{3 \cdot \Gamma \cdot \mu_C}{\rho_C^2 \cdot g}} \quad (6)$$

Выводы

Обобщая вышеизложенное, видно что, на значение толщины плёнки влияют коэффициенты динамической вязкости и плотность

абсорбента. Приведенные выше уравнения можно использовать для определения толщины плёнки жидкости на поверхности ротора при расчетах гидродинамики плёночного течения жидкости и коэффициента массоотдачи в жидкой фазе на роторно-фильтрующем аппарате.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Касадкин А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971. С.784.
2. *Ахоров А.А.* Исследование пленочного слоя на рабочей поверхности роторно-фильтрующего аппарата / А.А. Ахоров, Р.Ж. Тожиев, А.С. Исомиддинов // *Universum: технические науки.* 2021. №7(88). С.42-48.
3. *Ахоров А.А.* Выбор оптимального абсорбента для очистки водородно-фтористого газа в роторно-фильтровальном аппарате и исследование эффективности аппарата / Р.Ж.Тожиев, А.С. Исомиддинов, А.А. Ахоров, А.М. Сулаймонов // *Universum: технические наук.* 2021. №3-4 (84). С.44-51.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЯ ПЛЁНКИ ЗАКИСЛЕННОГО РАСТВОРА АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ

А.А. Ахроров,
докторант

Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния расхода абсорбентов на образование слоя плёнки на рабочей поверхности роторного фильтрующего аппарата. Построены графики зависимости расхода абсорбента от толщины слоя плёнки закисленных растворов аммиачной селитры. Сделаны выводы и выбран оптимальный абсорбент с целью эффективной очистки азотсодержащих газов при производстве минеральных удобрений.

Ключевые слова: абсорбционная жидкость, ротор с фильтрующим покрытием, закисленный раствор, аммиачная селитра

STUDY THE FILM LAYER OF ACIDULATE AMMONIA NITRATE SOLUTION

A.A. Akhrorov,
Postgraduate Student

Fergana Polytechnic Institute, Uzbekistan

In the article, the results of experimental studies of the effect of absorbent consumption on the formation of a film layer on the working surface of a rotary filter apparatus were presented. Graphs of the dependence of the absorbent consumption on the thickness of the film layer of acidified solutions of ammonium nitrate were plotted. Conclusions were given for choosing the optimal absorbent for the effective purification of nitrogen-containing gases in the production of mineral fertilizers.

Keywords: absorption liquid, filter coated rotor, acidified solution, ammonium nitrate

Мокрая очистка отходящих и вторичных газов с целью уменьшение выброса в атмосферу и возвращение ценных компонентов в технологические процессы являются актуальной задачей. Для того чтобы решить данную задачу исследованы процессы образования плёнки и влияние расхода абсорбентов на толщину слоя. В данной статье приведены ре-

зультаты экспериментальных исследований для эффективного улавливания аммиачных газов мокрым способом. Проведены опыты на плёночно-распылительном роторном аппарате и построены графики для сравнения значений толщины плёночного слоя 15- и 25%-ных закисленных растворов аммиачной селитры [1;2].

Из рис. 1 видно что при подводе абсорбента с интервалом расхода $Q = 0,068 \div 0,160$ м³/ч через форсунки с диаметром сопла $d_{III} = 1$ мм значение толщина слоя плёнки 15%-ного закисленного раствора аммиачной селитры изменилось в диапазоне $\delta_{пл} = 0,145 \div 0,34$ мм. Также при одинаковом расходе 20%-ного закисленного раствора аммиачной селитры толщина слоя плёнки увеличилась от $\delta_{пл} = 0,165$ мм до $\delta_{пл} = 0,38$ мм.

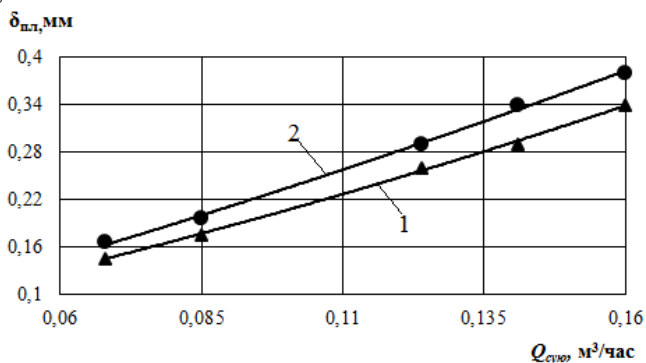


Рис. 1. Зависимость расхода абсорбента от толщины слоя плёнки:
 $Q_{сую} = 0,068 \div 0,160$ м³/соат; 1 – 15%-ный закисленный раствор аммиачной селитры;
 2 – 25%-ный закисленный раствор аммиачной селитры

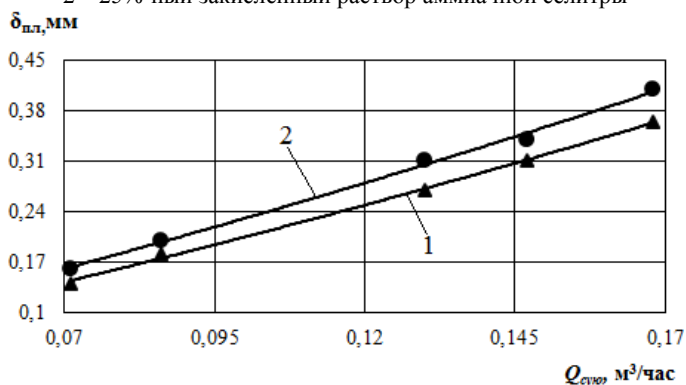


Рис. 2. Зависимость расхода абсорбента от толщины слоя плёнки:
 $Q_{сую} = 0,072 \div 0,178$ м³/соат; 1 – 15%-ный закисленный раствор аммиачной селитры;
 2 – 25%-ный закисленный раствор аммиачной селитры

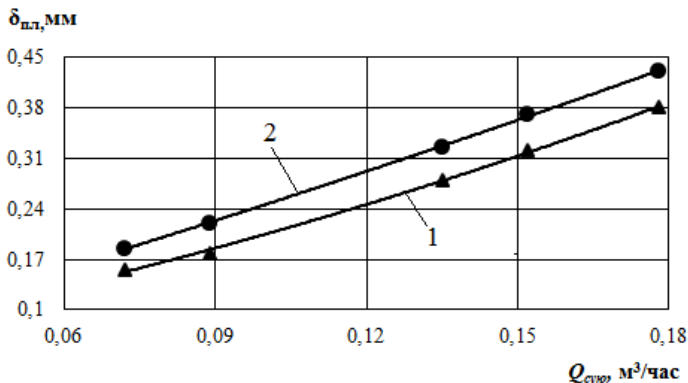


Рис. 3. Зависимость расхода абсорбента от толщины слоя плёнки:
 $Q_{\text{сую}} = 0,071 \div 0,168$ м³/соат; 1 – 15%-ный закисленный раствор аммиачной селитры; 2 – 25%-ный закисленный раствор аммиачной селитры

Из рис. 2 видно что при подводе абсорбента с интервалом расхода $Q_{\text{сую}} = 0,071 \div 0,168$ м³/ч через форсунки с диаметром сопла $d_{\text{ш}} = 2$ мм толщина слоя плёнки 15%-ного закисленного раствора аммиачной селитры изменилась в пределе $\delta_{\text{пл}} = 0,18 \div 0,43$ мм. Также, при том же расходе 20%-ного закисленного раствора аммиачной селитры плёночный слой увеличился от $\delta_{\text{пл}} = 0,23$ мм до $\delta_{\text{пл}} = 0,54$ мм.

Из рис. 3 видно что при подводе абсорбента с интервалом расхода $Q = 0,072 \div 0,178$ м³/ч через форсунки с диаметром сопла $d_{\text{ш}} = 3$ мм значение толщины слоя плёнки 15%-ного закисленного раствора аммиачной селитры изменилось в диапазоне $\delta_{\text{пл}} = 0,19 \div 0,46$ мм. Также, при одинаковом расходе 20%-ного закисленного раствора аммиачной селитры толщина слоя плёнки увеличилась от $\delta_{\text{пл}} = 0,23$ мм до $\delta_{\text{пл}} = 0,57$ мм.

Установлено, что при одинаковых расходах абсорбентов значение толщины плёночного слоя 25%-ного закисленного раствора аммиачной селитры больше, чем толщина 15%-ного закисленного раствора аммиачной селитры на рабочей поверхности роторного фильтрующего аппарата.

Используя метод наименьших квадратов, найдены эмпирические уравнения для выше приведенных графиков, [3].

При интервале расхода абсорбента $Q = 0,068 \div 0,160$ м³/ч и при диаметре $d_{\text{ш}} = 1$ мм сопла распылительной форсунки:

- для 15%-ного закисленного раствора аммиачной селитры

$$y = 3,1871x^2 + 1,3841x + 0,0356, \quad R^2 = 0,9987; \quad (1)$$

- для 25%-ного закисленного раствора аммиачной селитры

$$y = 2,6376x^2 + 1,8026x + 0,0273, \quad R^2 = 0,997. \quad (2)$$

При интервале расхода абсорбента $Q = 0,068 \div 0,160$ м³/ч и при диаметре $d_{ш} = 1$ мм сопла распылительной форсунки:

- для 15%-ного закисленного раствора аммиачной селитры

$$y = 2,4803x^2 + 1,6732x + 0,0123, \quad R^2 = 0,9985; \quad (3)$$

- для 25%-ного закисленного раствора аммиачной селитры

$$y = 2,5539x^2 + 1,9022x + 0,0145, \quad R^2 = 0,9966. \quad (4)$$

При интервале расхода абсорбента $Q = 0,068 \div 0,160$ м³/ч и при диаметре $d_{ш} = 1$ мм сопла распылительной форсунки:

- для 15%-ного закисленного раствора аммиачной селитры

$$y = 3,7005x^2 + 1,2373x + 0,0442, \quad R^2 = 0,9985; \quad (5)$$

- для 25%-ного закисленного раствора аммиачной селитры

$$y = 1,4847x^2 + 1,9622x + 0,035, \quad R^2 = 0,9995. \quad (6)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахоров А.А.* Исследование пленочного слоя на рабочей поверхности роторно-фильтрующего аппарата / А.А. Ахоров, Р.Ж. Тожиев, А.С. Исомидинов // *Universum: технические науки.* 2021. №7(88). С.42-48.
2. *Akhrorov A.A.* Analysis of the dispersed composition of the phosphorite dust and the properties of emission fluoride gases in the production of superphosphate mineral fertilizers / A.A. Akhrorov, R.J. Tojiyev, A.S. Ismodinov // *Universum: химия и биология.* 2021. № 6-2 (84). С. 68-73.
3. *Бондарь А.Г.* Планирование эксперимента / А.Г. Бондарь, Г.А. Статюха // Киев: Вища школа, 1976. 184 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЯ ПЛЁНКИ ВОДНОГО РАСТВОРА ТЕХНИЧЕСКОЙ СОДЫ НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РОТОРНОГО ФИЛЬТРУЮЩЕГО АППАРАТА

А.А. Ахроров,
докторант

Ферганский политехнический институт, Узбекистан

В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния расхода абсорбентов на образование слоя плёнки на рабочей поверхности роторного фильтрующего аппарата. Построены графики зависимости расхода абсорбента от толщины слоя плёнки водных растворов технической соды. Сделаны выводы для выбора оптимального абсорбента с целью эффективной очистки фтористых газов при производстве суперфосфатных минеральных удобрений.

Ключевые слова: абсорбционная жидкость, ротор с фильтрующим покрытием, водный раствор, техническая сода

STUDY THE FILM LAYER OF SOLUTION OF TECHNICAL SODA ON THE WORKING SURFACE OF A ROTARY FILTER APPARATUS

A.A. Akhrorov,
Postgraduate Student

Fergana Polytechnic Institute, Uzbekistan

In the article, the results which experimental studies of the effect of absorbent consumption on the formation of a film layer on the working surface of a rotary filter apparatus were presented. Graphs of the dependence of the absorbent consumption on the thickness of the film layer of aqueous solutions of industrial soda were constructed. Conclusions were given for choosing the optimal absorbent for the effective purification of fluorine gases in the production of superphosphate mineral fertilizers.

Keywords: absorption liquid, rotor with filter coating, aqueous solution, technical soda

Мокрая очистка отходящих и вторичных газов с целью уменьшение выброса в атмосферу и возвращение ценных компонентов в технологические процессы являются актуальной задачей. В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований для эффективного

улавливания газообразного фтороводорода мокрым способом. Проведены результаты опытов на плёночно-распылительном роторном аппарате и построены графики зависимости расхода абсорбента от толщины слоя пленки для сравнения значения плёночного слоя 10-, 20- и 30%-ных растворов технической соды [1-3].

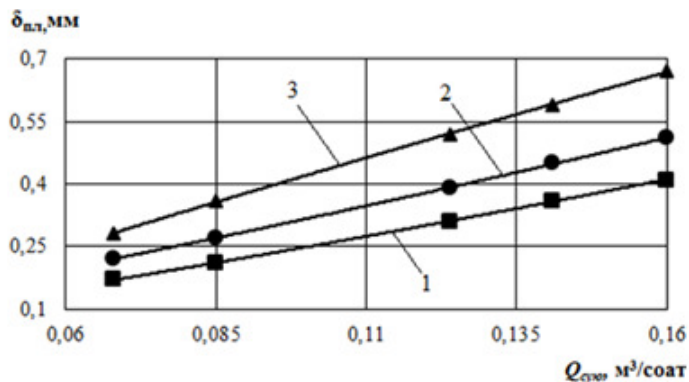


Рис. 1. Зависимость расхода абсорбента от толщины слоя плёнки:
 $Q = 0,068 \div 0,160$ м³/соат; 1 – 10%-ный водный раствор технической соды;
 2 – 20%-ный водный раствор технической соды; 3 – 30%-ный водный раствор
 технической соды

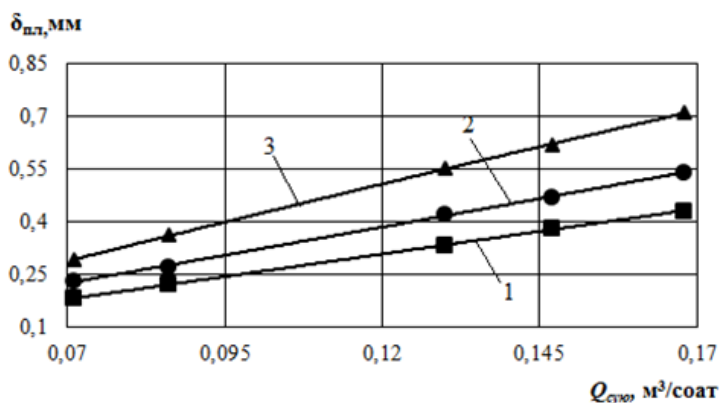


Рис. 2. Зависимость расхода абсорбента от толщины слоя плёнки:
 $Q = 0,071 \div 0,168$ м³/соат; 1 – 10%-ный водный раствор технической соды;
 2 – 20%-ный водный раствор технической соды; 3 – 30%-ный водный раствор
 технической соды

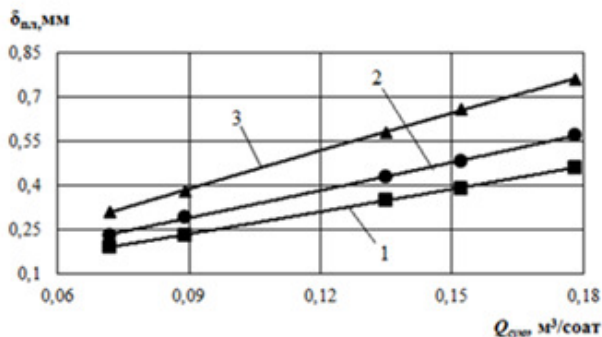


Рис. 3. Зависимость расхода абсорбента от толщины слоя плёнки:
 $Q = 0,072 \div 0,178 \text{ м}^3/\text{сoат}$; 1 – 10%-ный водный раствор технической соды;
 2 – 20%-ный водный раствор технической соды; 3 – 30%-ный водный раствор
 технической соды

Из рис.а 1 видно, что при подводе абсорбента с интервалом расхода $Q = 0,068 \div 0,160 \text{ м}^3/\text{ч}$ через форсунки с диаметром сопла $d_{III} = 1 \text{ мм}$ значение толщина слоя плёнки 10%-ного водного раствора технической соды изменялось в диапазоне $\delta_{пл} = 0,17 \div 0,41 \text{ мм}$. При тем же расходе 20%-ного водного раствора технической соды толщина слоя плёнки увеличилась с $\delta_{пл} = 0,22 \text{ мм}$ до $\delta_{пл} = 0,42 \text{ мм}$. Толщина слоя плёнки 30%-ного водного раствора на поверхности фильтрующего материала ротора достигла $\delta_{пл} = 0,67 \text{ мм}$.

Из рис. 2 видно, что при подводе абсорбента с интервалом расхода $Q = 0,071 \div 0,168 \text{ м}^3/\text{ч}$ через распылительные форсунки с диаметром сопла $d_{III} = 2 \text{ мм}$, толщина слоя плёнки 10%-ного водного раствора технической соды изменилась в диапазоне $\delta_{пл} = 0,18 \div 0,43 \text{ мм}$. При использовании 20%-ного водного раствора технической соды толщина слоя плёнки увеличилась с $\delta_{пл} = 0,23 \text{ мм}$ до $\delta_{пл} = 0,54 \text{ мм}$. Толщина плёнки 30%-ного водного раствора технической соды на поверхности фильтрующего материала ротора достигла наибольшего значения $\delta_{пл} = 0,71 \text{ мм}$.

Из рис. 3 видно что при подводе абсорбента с интервалом расхода $Q = 0,072 \div 0,178 \text{ м}^3/\text{ч}$ через распылительные форсунки с диаметром сопла $d_{III} = 3 \text{ мм}$ толщина слоя плёнки 10%-ного водного раствора технической соды изменилась в диапазоне $\delta_{пл} = 0,19 \div 0,46 \text{ мм}$. При использовании 20%-ного водного раствора технической соды толщина слоя плёнки увеличилась с $\delta_{пл} = 0,23 \text{ мм}$ до $\delta_{пл} = 0,57 \text{ мм}$. Толщина плёнки 30%-ного водного раствора плёнки на поверхности фильтрующего материала ротора достигла значения $\delta_{пл} = 0,76 \text{ мм}$.

На основе построенных графиков зависимости получены следующие корреляционные уравнения [1].

При интервале расхода абсорбента $Q = 0,068 \div 0,160$ м³/ч и при диаметре $d_{ш} = 1$ мм сопла распылительной форсунки:

- при 10%-ном водном растворе технической соды (Na_2CO_3),
 $y = 2,6208x^2 + 2,029x + 0,0193, \quad R^2 = 0,9998;$ (1)

- при 20%-ном водном растворе технической соды (Na_2CO_3),
 $y = 2,6279x^2 + 2,5677x + 0,033, \quad R^2 = 0,9998;$ (2)

- при 30%-ном водном растворе технической соды (Na_2CO_3),
 $y = -1,9389x^2 + 4,6417x - 0,0244, \quad R^2 = 0,9997.$ (3)

При интервале расхода абсорбента $Q = 0,071 \div 0,168$ м³/ч и при диаметре $d_{ш} = 2$ мм сопла распылительной форсунки:

- при 10%-ном водном растворе технической соды (Na_2CO_3),
 $y = -0,0044x^2 + 2,5849x - 0,0032, \quad R^2 = 0,9995;$ (4)

- при 20%-ном водном растворе технической соды (Na_2CO_3),
 $y = 0,5946x^2 + 3,0871x + 0,0049, \quad R^2 = 0,9993;$ (5)

- при 30%-ном водном растворе технической соды (Na_2CO_3),
 $y = -1,9454x^2 + 4,7728x - 0,0378, \quad R^2 = 0,9999.$ (6)

При интервале расхода абсорбента $Q = 0,072 \div 0,178$ м³/ч и при диаметре $d_{ш} = 3$ мм сопла распылительной форсунки:

- при 10%-ном водном растворе технической соды (Na_2CO_3),
 $y = 0,7879x^2 + 2,3548x + 0,0156, \quad R^2 = 0,9998;$ (7)

- при 20%-ном водном растворе технической соды (Na_2CO_3),
 $y = 0,9523x^2 + 2,9218x + 0,0178, \quad R^2 = 0,9993;$ (8)

- при 30%-ном водном растворе технической соды (Na_2CO_3),
 $y = -1,7402x^2 + 4,7234x - 0,0234, \quad R^2 = 0,9996.$ (9)

Выводы

Для очистки и нейтрализации газообразного фтороводорода, образующегося при производстве суперфосфатных минеральных удобрений в качестве абсорбента выбран 30%-ный водный раствор технической соды.

Необходимо учитывать что, подвод абсорбента с расходом 0,178 м³/ч приводит к увеличению толщины слоя плёнки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондарь А.Г.* Планирование эксперимента / А.Г. Бондарь, Г.А. Стягуха // Киев: Вища школа, 1976. 184 с.
2. *Ахоров А.А.* Исследование пленочного слоя на рабочей поверхности роторно-фильтрующего аппарата / А.А. Ахоров, Р.Ж. Тожиев, А.С. Исомиддинов // Universum: технические науки. 2021. №7(88). С.42-48.
3. *Ахоров А.А.* Выбор оптимального абсорбента для очистки водородно-фтористого газа в роторно-фильтровальном аппарате и исследование эффективности аппарата / Р.Ж. Тожиев, А.С. Исомиддинов, А.А. Ахоров, А.М. Сулаймонов // Universum: технические науки, №3-4 (84). С.44-51.

УДК 631.87

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ КАРЬЕРНЫХ ВОД

Д.С. Веселов, М.В. Шарыгина, Е.Л. Никитина

Научный руководитель - **Е.Л. Никитина**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Ограниченность запасов водных ресурсов, а также проблема защиты окружающей среды наиболее актуальны в использовании шахтных вод. Цель исследования является повышение качества реагентной очистки шахтных вод для снижения антропогенного воздействия на окружающую среду.

***Ключевые слова:** реагентная очистка, детоксикация, обратный осмос, ионообменная очистка*

IMPROVING THE QUALITY OF REAGENT TREATMENT OF QUARRY WATERS

D.S. Veselov, M.V. Sharygina, E.L. Nikitina

Scientific Supervisor – **E.L. Nikitina**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The limited reserves of water resources, as well as the problem of environmental protection, are most relevant in the use of mine waters. The purpose of the study is to improve the quality of reagent treatment of mine waters to reduce anthropogenic impact on the environment.

***Keywords:** reagent purification, detoxification, reverse osmosis, ion exchange purification*

Сегодня многие проблемы охраны и восстановления окружающей среды не находят оптимальных решений из-за отсутствия дешевых, доступных и экологически чистых препаратов в технологии природоохранных мероприятий. Ограниченность водных ресурсов, а также защита окружающей среды наиболее актуальна в использовании шахтных вод. Основное количество шахтных вод представлено сульфатно-хлоридным типом. Кроме минеральных солей с шахтными водами сбрасывается зна-

чительное количество взвешенных веществ, нефтепродуктов и других загрязнений [1]. Поэтому разработка эффективного способа очистки таких вод является актуальной и сложной задачей. Концентрация сульфат-ионов в стоках может достигать до 2-3 г/дм³. Нейтрализация таких стоков известью не позволяет получить нормируемые значения предельно-допустимых концентраций сульфатов в сбросных водах [2].

Существует два основных способа очистки воды от сульфатов: с помощью анионитов; обратного осмоса, причем оба варианта отличаются высокой надежностью и дают хорошие результаты. Если концентрация сульфатов в сточной воде составляет более 2000 мг/дм³, то применяется их осаждение под воздействием химических реагентов, с последующим отстаиванием и фильтрацией, или же их удаление способом отгонки под вакуумом [3, 4]. Объектом исследования является технологический процесс очистки сточных вод, поступающих на очистные сооружения. Цель работы – повышение качества очистки стоков шахтных вод на очистных сооружениях для снижения антропогенного воздействия на окружающую среду. Разработанная технология очистки состоит в осаждении загрязняющих веществ с добавлением реагентов, ускоряющих образование гидроксидов с образованием осадка. В качестве реагентов первичной стадии очистки использовалось известковое молоко, сорбирующее на поверхности хлопьевидного осадка, выделенные из раствора сульфаты, которые затем удаляли фильтрацией. Поддержание оптимального уровня pH необходимо для выбора дальнейшей очистки природными сорбентами. Наиболее целесообразным решением для снижения негативного влияния на окружающую среду является использование природных сорбентов, выполняющих функции естественных детоксикантов с большим спектром биологического действия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликова А.А. Формирование шахтных вод и анализ способов их очистки / А.А. Куликова, Ю.А. Сергеева, Т.И. Овчинникова // Горный информ.-аналит. бюллетень 2020. №7. С.135-145
2. Войтович С.П. Геохимические особенности шахтных вод угольных бассейнов Украины и России // Молодой ученый. 2015. № 23. С. 395-397.
3. Требования к качеству шахтных и карьерных вод, используемых для технических и хозяйственно-бытовых нужд предприятий угольной промышленности / ВНИИОСуголь. Пермь, 1986. 12 с.
4. Пашацкий Н.В. Гидроэкология: проблемы малых водоемов, загрязняемых отходами промышленного производства // Инженерная экология. 2017. №6. С. 39-45.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Р. Габдрафикова, Л.Р. Акчурина, Ю.А. Валиахметова

Научный руководитель – **Л.Р. Акчурина**, канд. техн. наук, доцент

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Приведены результаты исследования прочностных характеристик консолидированного материала на основе избыточного ила биологических очистных сооружений, золы пиролиза и негашеной извести.

***Ключевые слова:** избыточный активный ил, зола пиролиза, негашеная известь, консолидированный материал, строительные материалы*

USE OF BIOLOGICAL PRECIPITATION TREATMENT FACILITIES IN THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS

A.R. Gabdrifikova, L.R. Akchurina, Yu.A. Valiahmetova

Scientific Supervisor – **L.R. Akchurina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ufa State Petroleum Technical University

The results of the study of the strength characteristics of the consolidated material based on the excess sludge of biological treatment facilities, pyrolysis ash and quicklime are presented.

***Keywords:** excess activated sludge, pyrolysis ash, quicklime, consolidated material, building materials*

Очистка сточных вод предприятий нефтехимии необходима для поддержания качества поверхностных и грунтовых вод. Наибольшее распространение в обработке стоков получили биологические методы, основанные на повышенной минерализации органических загрязнителей, находящихся в воде. Образующийся в ходе биоочистки осадок избыточного активного ила отводят на хранение в илонакопители, также в большом количестве биомасса ила может накапливаться в виде донных отложений в биологических прудах [1].

Избыточный ил в зависимости от состава и присутствия в нем токсичных соединений может быть использован в качестве биоудобрений,

белково-витаминных добавок, сырья при производстве строительных материалов [2].

Проработка научно-технической литературы по данной проблеме показала, что из общего объема образующихся избыточных илов в России переработке подвергается не более 3 %, основная масса ила складывается в илонакопителях или на свалках промышленных отходов. Главная причина столь малых объемов переработки данных видов отходов заключается в наличии в них токсичных примесей, таких как, нефть, и нефтепродукты, ионы тяжелых металлов и др., что в большей степени ограничивает использование ила в качестве биоудобрения или различных кормовых добавках. Термические методы экологически небезопасны и требуют значительных экономических затрат.

Одним из перспективных направлений переработки ила нефтехимических предприятий является использование осадков сточных вод в качестве сырья при производстве строительных материалов [3].

Целью работы являлась разработка и исследование направления переработки избыточного ила нефтехимических предприятий с получением консолидированного материала, а также определение физико-механических характеристик получаемого минерального порошка.

В качестве объекта для исследования был выбран избыточный активный ил (ИАИ), отобранный с иловых карт очистных сооружений ОАО «Уфанефтехим», влажностью 65 %, также с целью стабилизации получаемого состава в смесь вводили золу пиролиза (ЗП) с установки УППН-1,6-2,5-У1 ООО НИП «ТЕХНОЛОГИЯ». В качестве основного компонента капсулирования использовали негашеную известь в количестве 10, 20 и 30 % масс, которую предварительно гидрофобизировали нефтешламов в соотношении 1:1.

Полученные образцы (табл. 1) консолидированного материала исследовали в лабораторных условиях. Основные физико-механические характеристики полученных образцов, с различным процентным соотношением входящих компонентов приведены в табл. 2.

Таблица 1. Основные физико-механические характеристики смесей при различном соотношении входящих компонентов

№ образца	Консолидированный изолирующий материал с различным содержанием извести	Влажность, %	Плотность, г/см ³
1	ИАИ + пиролизная зола - 90%; известь -10%	30 -36	1,361
2	ИАИ + пиролизная зола - 80%; известь - 20%	20-22	1,412
3	ИАИ + пиролизная зола - 70%; известь - 30%	10-12	1,506

Как видно из таблицы, с повышением доли негашеной извести в смеси, отмечается понижение влажности образцов от 30–36% до 10–12%, в тоже время отмечается повышение плотности от 1,361 до 1,506 г/см³.

Таблица 2. Физико-механические характеристики консолидированного материала в зависимости от давления прессования смеси

№ образца	Состав смеси	Давление прессования, МПа	Сырцовая прочность, МПа	Прочность, МПа		Плотность, г/см ³
				при сжатии	при изгибе	
1	ИАИ + ЗП - 90%; известь - 10%	5	0,42	3,3	0,22	1,39
		10	0,51	4,8	0,48	1,40
		15	0,62	5,9	0,54	1,48
2	ИАИ + ЗП - 80%; известь - 20%	5	0,56	5Д	0,26	1,45
		10	0,76	5,9	0,52	1,48
		15	0,85	6,4	0,61	1,53
3	ИАИ + ЗП - 70%; известь - 30%	5	0,65	5,3	0,29	1,51
		10	0,78	бд	0,55	1,55
		15	0,91	6,7	0,65	1,62

В течение всего процесса перемешивания избыточного ила и негашеной извести с содержанием активного кальция более 70% отмечается значительное повышение температуры смеси и способность получаемого материала к формованию и самоуплотнению.

С повышением давления прессования происходит повышение основных прочностных характеристик исследуемых образцов: сырцовой прочности, прочности при сжатии и изгибе, а также плотности. При этом самые лучшие значения отмечаются в смесях с наибольшим содержанием негашеной извести.

В результате физико-химических процессов, протекающих при смешивании золы пиролиза и избыточного активного ила с негашеной известью, образуется высокопрочный водостойкий порошок, который может быть использован в качестве компонента в дорожном строительстве.

Таким образом, предлагаемый способ переработки крупнотоннажных промышленных отходов может осуществляться без использования технически сложного оборудования и дорогих реагентов практически в любом регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новые дорожные смеси на основе крупнотоннажных отходов нефтегазовой промышленности / Г.Г. Ягафарова, В.М. Латыпов, А.В. Московец, Л.Р. Акчурина, А.Х. Сафаров, И.Р. Ягафаров // Известия Самар. науч. центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 5-3. С. 871-873.
2. *Туровский И.С.* Обработка осадков сточных вод. М.: Стройиздат, 1975. 160 с.
3. Отходы нефтегазового комплекса в дорожном строительстве / Г.Г. Ягафарова, А.Х. Сафаров, А.В. Московец, Л.Р. Акчурина, Ю.А. Федорова, Д.Х. Акчурина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. № 8. С. 9-11.

ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ НИКЕЛЯ

В.А. Гонова, 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 никеля из раствора в лабораторном трехкамерном электромембранном аппарате. Установлен характер влияния режимных параметров на эффективность процесса.

Ключевые слова: *электродиализ, вода, ионы никеля, извлечение, электромембранный аппарат*

ELECTRODIALYSIS WASTEWATER TREATMENT FROM NICKEL IONS

V.A. Gonova, 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 nickel ions elimination from solution in a laboratory three-chamber electromembrane apparatus. The influence of technological parameters on the efficiency of electro-dialysis has been established.

Keywords: *electrodialysis, nickel ions, water, removal, electromembrane apparatus*

С промывными водами гальванопроизводств безвозвратно уносятся две трети содержащихся в них металлов, среди которых медь, никель, серебро, хром. Эффективное выделение неорганических солей из водных растворов этих веществ может быть осуществлено посредством электродиализа. Электродиализ исторически развился как метод опреснения воды и позже стал применяться для очистки сточных вод, регенерации технологических растворов, очистки гальваносток [1, 2].

На участке никелирования деталей образуются промывные воды, содержащие в качестве наиболее опасной примеси ионы никеля. Использование электродиализа для обработки промывных вод позволяет получить более концентрированный солевой раствор, а также обессоленный раствор, который можно вновь использовать в качестве технической воды. Для внедрения данного метода требуются данные о влиянии режимных параметров на процесс электродиализа раствора электролита никелирования.

Ранее [3] нами были выполнены исследования влияния разности потенциалов на электродах электромембранного аппарата на процесс электродиализа раствора электролита никелирования. Эксперименты проводили на лабораторном трехкамерном электродиализаторе с анионообменной мембраной МА-40 и катионообменной мембраной МК-40. Движение потоков было организовано по циркуляционной схеме. Максимальная степень извлечения, при одинаковом времени процесса, наблюдалась при напряжении 14 В.

Далее были выполнены эксперименты по исследованию влияния скорости движения потоков в камерах электромембранного аппарата на процесс электродиализа раствора электролита никелирования. Опыты проводились с одинаковыми начальными концентрациями и объемами $V = 200$ мл исходного раствора никелирования в потенциостатическом режиме при разных скоростях W движения раствора.

В таблице 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 массового потока через мембрану; B – степень извлечения соли; $P_{уд}$ – удельный расход энергии на разделение раствора.

Таблица 1. Результаты экспериментов

№	W , м/с	U , В	τ , мин	i_{cp} , А/м ²	j_{cp} 10 ⁴ г/с	B , доли	$P_{уд}$, кВт·ч/м ³
1	0,06	14	28	27,8	2,584	0,845	11,43
2	0,13	14	28	37,266	3,864	0,959	11,96
3	0,175	14	28	39,51	3,985	0,966	12,17

Анализ данных табл. 1 показывает, что при увеличении скорости подачи раствора растет средняя за время опыта плотность тока, среднее значение потока ионов через мембрану, а также удельный расход энергии на разделение раствора. Наиболее рациональной является скорость раствора в каналах электродиализатора $W = 0,13$ м/с.

Также были выполнены эксперименты по дальнейшему концентрированию раствора, отобранного из емкости концентрата. Скорость движения раствора была одинаковая для всех опытов 0,13 м/с. Разность потенциалов на электродах постоянная 14 В. Варьировалась начальная концентрация раствора и соотношение объемов растворов в емкости концентрата и дилюата. Полученные закономерности иллюстрируют графики рис. 1.

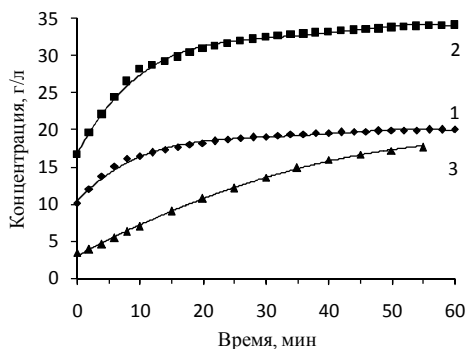


Рис. 1. Зависимости концентрации раствора никелирования в емкости концентрата от времени процесса.

Соотношение объемов обессоливаемого и концентрируемого растворов:
1, 2 - $V_{об}/V_{к} = 1$; 3 - $V_{об}/V_{к} = 5$

Согласно данным рис. 1 трехкратная обработка раствора никелирования позволила получить раствор с концентрацией 34,1 г/л, который можно вернуть в технологический цикл. Таким образом, показана возможность очистки промывных вод участка никелирования с помощью ионообменных мембран отечественного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пилат Б.В.* Основы электродиализа. М.: Авваллон, 2004. 456 с.
2. *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.
3. *Гонова В.А.* Извлечение ионов никеля из сточных вод в электромембранном аппарате // Семьдесят четвертая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: сб. материалов конф. В 2 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2021. С. 107-109. 1 опт. диск.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

М. В. Губенко, М. Р. Скороходова, Ю. С. Рыжкова

Научный руководитель – **Ю. С. Рыжкова**, аспирант

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

Рассматриваются современные методы очистки сточных вод на предприятиях и их эффективность.

Ключевые слова: *методы, эффективность, фильтрование, флотация, нейтрализация*

MODERN METHODS OF WATER PURIFICATION AT ENTERPRISES

M.V. Gubenko, M.R. Skorokhodova

Scientific Supervisor - **Y.S. Ryzhkova**, Assistant

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University

Modern methods of wastewater treatment at enterprises and their effectiveness are considered.

Keywords: *methods, efficiency, filtration, flotation, neutralization*

В нашей жизни вода играет очень важную роль. Она является главным компонентом окружающей среды. Ни один природный ресурс не сравнится с водным. К сожалению, при постоянном использовании вода загрязняется материалами минерального и органического происхождения. Такую воду принято называть сточной. Сточные воды, в зависимости от происхождения, содержат вредные микроорганизмы и токсичные вещества, которые пагубно сказываются на здоровье людей. В настоящее время требования к степени очистки сточных вод повышаются. В связи с этим их подвергают дополнительной более глубокой очистке (доочистке) [1]. В процессе очистки предусматривают также обработку осадков сточных вод и обеззараживание сточных вод перед сбросом в

водоем. Поэтому перед экологами постоянно ставится задача об очистке таких вод.

Многие промышленные предприятия загрязняют водную среду, вследствие чего погибает множество подводных организмов. Кроме этого, нарушается состав почвенной среды. Все это приводит к глобальным экологическим катастрофам. Поэтому перед специалистами в области промышленной экологии ставится задача по установлению современных методов очистки сточных вод.

Сточные воды – это воды пресного происхождения, загрязнившие вследствие выбросов промышленных отходов от предприятий и фабрик в окружающую человека биологическую среду. Люди, для упрощения быта, производят тонны синтетических моющих средств. Смесь моющих средств, биологических отходов попадают в канализацию. Все это попадает в сток, приводя к загрязнению поверхностных и подземных водных источников. Довольно вредным загрязнителем промышленных вод является фенол. Он содержится в сточных водах многих нефтехимических предприятий. При этом резко снижаются биологические процессы водоемов, процесс их самоочищения, вода приобретает специфический запах карболки. На жизнь населения водоемов пагубно влияют сточные воды целлюлозно-бумажной промышленности. Окисление древесной массы сопровождается поглощением значительного количества кислорода, что приводит к гибели икры, мальков и взрослых рыб. Волокна и другие нерастворимые вещества засоряют воду и ухудшают ее физико-химические свойства [2].

Очистка сточных вод осуществляется на специальных очистных сооружениях. Существует четыре процесса очистки. Самым первым процессом и одним из наиболее эффективных экологи выделяют механический метод. Он предназначен для задержания грубых и тонкодисперсных примесей. Второй способ – это физико-химический. Он основан на использовании природных и синтетических флокулянтов. Ещё одним немаловажным способом является дезинфекция сточных вод. Данный метод широко распространен на промышленных предприятиях. Биологический метод – один из самых экологичных способов по очистке сточных вод. Его работа заключается в процессах окисления, расщепления и последующего уничтожения вредных органических загрязнений жидкости. Существуют специальные оборудования (биофильтры, аэротенки, песколовки и многие другие) через которые уже проходит обработанная вода.

Выделяют два метода очистки сточных вод: нерастворимые твёрдые и жидкие примеси и растворимые примеси. В свою очередь данные методы классифицируются на отдельные процессы. Например, механический процесс включает в себя фильтрацию, отстаивание, центробежное

отделение и процеживание. Фильтрация позволяет удалять из воды механические примеси и бактериальную микрофлору. Процесс очистки заключается в установке специальных фильтров, таких как, тканые, полимерные, гранулированный фильтрующий материал. При центробежном фильтровании вода удаляется через перфорированный ротор центрифуги, в котором суспензия под действием центробежных сил прижимается к его внутренней поверхности. Жидкость фильтруется через слой осадка и отверстия ротора. Твердые частицы удерживаются на поверхности ротора, обезвоживаются и разгружаются из ротора. Осадительное центрифугирование осуществляется в центрифугах со сплошным ротором [3].

Физико-химический процесс очистки стоков подразделяется на такие понятия, как флотация, сорбция, экстракция, флокуляция (коагуляция). Процесс флотации – это молекулярное «прилипание» частиц к поверхности. Он основывается на способности газовых пузырьков закрепляться на частицах, помогая им всплывать на поверхность. Адсорбция является частным случаем сорбции, процесс, обратный адсорбции – десорбция. Адсорбция – самопроизвольный процесс увеличения концентрации растворенного вещества у поверхности раздела твёрдой фазы – жидкость, конденсированная фаза – газ. Коагуляция – процесс слипания твёрдых частиц в момент их соприкосновения. Процесс, направленный на повышение эффективности коагуляции называется флокуляцией. Флокулянты бывают органические, неорганические, синтетические.

Химический процесс основывается на ионном обмене, нейтрализации и окислении. В отличие от обычного фильтрования через зернистые материалы, когда состав водного раствора не меняется, ионообменный метод очистки воды основан на направленном изменении ионного состава водной среды путем пропускания его через ионообменные материалы - иониты, которыми предварительно заполняют специальные резервуары - ионные фильтры. Процесс нейтрализации основан на обработке воды щелочами или кислотами, известью, содой, аммиаком и т. п. с целью обеспечения заданной величины водородного показателя рН.

Биологический метод классифицируется на природные условия и искусственные условия. Данный способ очистки сточных вод является очень эффективным, что подтверждается сто процентным результатом. Агентом выступает биопленка или активный ил.

Рассуждая над методами и процессами очистки сточных вод, следует сделать вывод о том, что современная наука не стоит на месте и постоянно развивается в различных отраслях. Промышленные предприятия должны соблюдать новейшие тенденции по очищению стоков для улучшения внешнеэкологических проблем. Сохранить живое существование планеты – основная задача всего человечества, поэтому заводам и фабри-

кам необходимо как можно больше предотвращать выбросы вредных веществ в окружающую среду и эффективнее налаживать работу фильтровальных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гусакова Н.В.* Экология: конспект лекций / Н.В. Гусакова, А.И. Забалуева, В.В. Румянцева; под ред. А.Н. Королева. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006. 164 с.
2. *Кучер М.И.* Экология: учеб. пособие / под ред. проф. Е.Э. Френкеля. Вольск: ВВИМО, 2015. 214 с.
3. Российская государственная библиотека / Центр информ. технологий РГБ; ред. Т. В. Власенко; Web-мастер Н.В. Козлова. М.: Рос. гос. б-ка, 1997. URL: <http://www.rsl.ru> (дата обращения: 11.03.22)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

И.Р. Даниева, Л.Р. Акчурина, Ю.А. Валиахметова

Научный руководитель – **Ю.А. Валиахметова**, канд. техн. наук,
доцент

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Рассматривается способ утилизации буровых шламов и возможность его использования в качестве компонентов грунтовой смеси, применяемого в дорожном строительстве.

***Ключевые слова:** буровые отходы, грунтовая смесь, токсичность, биотестирование*

USE OF DRILLING WASTE IN ROAD CONSTRUCTION

I.R. Danieva, L.R. Akchurina, Yu.A. Valiakhmetova

Scientific Supervisor – **Yu.A. Valiakhmetova**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Ufa State Petroleum Technological University

The article considers the method of utilization of drill cuttings and the possibility of its use as components of the soil mixture used in road construction.

***Keywords:** drilling waste, soil mixture, toxicity, biotesting*

В современном мире в условиях масштабной добычи углеводородного сырья, образуется значительное количество промышленных отходов. Согласно статистическим данным, в процессе строительства одной нефтедобывающей скважины образуются около 4,5 тыс. м³ буровых отходов. Используемые в процессе бурения и эксплуатации скважин различные химические реагенты могут оказывать негативное воздействие на все компоненты окружающей среды, в частности происходит загрязнение земель, водных объектов и воздушного пространства. На сегодняшний день известны и применяются различные методы утилизации буровых отходов: термические (сжигание, сушка), физические (захоронение и за-

качка), химические, физико-химические (отверждение, гидрофобизация, реагентное капсулирование), биологические, комплексные.

Несмотря на внедрение современных технологических решений, единого способа утилизации и обезвреживания, подходящего для всех задач, не существует. Каждый из перечисленных методов имеет свои преимущества и недостатки, в соответствии с назначением предприятия, климатическими и геологическими условиями местности, составом бурового раствора и другими условиями. При выборе метода утилизации бурового шлама учитываются ландшафтные, природно-климатические, геологические условия [1]. Однако все более широкую популярность приобретает использование буровых отходов в качестве сырья для производства строительных материалов [2].

Целью данной работы являлась разработка способа утилизации буровых отходов в качестве компонента грунтовых смесей.

В качестве объекта исследования использовали образцы бурового шлама, отобранные на территории Республики Башкортостан. Для повышения прочности получаемых искусственных грунтовых смесей вносили отходы производства цемента, которые обладают вяжущими свойствами. С целью усиления пластичности грунтов на молекулярном уровне добавляли современный модификатор в количестве 0,01-0,02% мас. Модификатор представляет собой порошкообразное вещество, в основе которого содержатся щелочноземельные металлы и синтетические цеолиты, дополненные активатором. В отличие от жидких стабилизаторов данный модификатор взаимодействует с вяжущим веществом, что позволяет исключить проблемы с выбором грунтов для работы [3].

Все компоненты грунтовой смеси равномерно смешивали в определенном соотношении. При этом максимальное содержание глинистых частиц в грунтовой смеси не превышало 10% масс. В результате исследований был получен образец грунтовой смеси с высокими эксплуатационными характеристиками (предел прочности при сжатии 1,8 МПа).

Дополнительно была проведена оценка токсичности образцов грунтовой смеси. Биотестирование проводили по стандартной методике [4] на приборе «Биотестер-2». Индекс токсичности состава для дорожного строительства составил 0,31, что говорит об экологической безопасности предлагаемой грунтовой смеси.

Таким образом, использование бурового шлама в качестве компонента грунтовой смеси является перспективным направлением его утилизации и позволит в будущем сократить объемы накопления отхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шарова О.А.* Экологические аспекты процесса бурения и способы утилизации буровых отходов // Геология, география и глобальная энергия, 2009. № 4. С. 29-36.
2. Отходы нефтегазового комплекса в дорожном строительстве / Г.Г. Ягафарова, А.Х. Сафаров, А.В. Московец, Л.Р. Акчурина, Д.Х. Акчурина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2014. № 8. С. 9-11.
3. *Пичугин Е.А.* Закономерности получения стабилизированных геоэкологически устойчивых грунтовых смесей на основе буровых шламов: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36: защищена 21.11.2019 / Пичугин Евгений Александрович. Пермь, 2019. 183 с.
4. ПНД Ф Т 16.2:2.2-98. Методика определения токсичности проб почв, донных отложений и осадков сточных вод экспресс-методом с применением прибора «Биотестер». М., 1998. 21 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ КИСЛЫХ ГУДРОНОВ В КАЧЕСТВЕ АДГЕЗИОННОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ БИТУМОВ

В.А. Зайцев, А.С. Зайцева, С.Д. Тимрот

Научный руководитель – **С.Д. Тимрот**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Объектом исследования является продукт переработки кислого из накопителя кислого гудрона НПЗ им. Менделеева. Осуществлен анализ и исследование продукта нейтрализации. Установлено, что продукт нейтрализации может быть использован в качестве адгезионной добавки в производстве битумов.

***Ключевые слова:** кислый гудрон, пруды-накопители, адгезия, нейтрализация, битумные материалы*

USE OF ACID TARS NEUTRALIZATION PRODUCT AS ADHESIVE ADDITIVE FOR BITUMES

V.A. Zaitsev, A.S. Zaitseva, S.D. Timrot

Scientific Supervisor – **S.D. Timrot**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The object of the study is the product of acid tar processing from the acid tar storage tanks of the Refinery named after V.I. Mendeleev. The analysis and study of the neutralization product was carried out. It has been established that the neutralization product can be used as an adhesive additive in the production of bitumen.

***Keywords:** acid tar, storage ponds, adhesion, neutralization, bituminous materials*

Кислые гудроны являются опасным крупнотоннажным промышленным отходом, накопленным в XX веке. На старейшем НПЗ им Д.И. Менделеева такой отход перерабатывался методом нейтрализации негашеной известью и затем загружался в освобождённые пруды-накопители. Таким образом, на предприятии образовалось 100 тысяч тонн продукта, которого требуется утилизировать.

В табл. 1 представлены результаты определения компонентного состава отхода.

Таблица 1. Физико-химические свойства продукта нейтрализации

Показатель	Величина параметра
Плотность, г/см ³	1,09-1,20
pH водной вытяжки, %	12,5-12,3
Водорастворимые соединения	5-10
Содержание воды, %	4-15
Органические соединения, %	11-13
Минеральные вещества, %	72-85

Как было показано ранее проведенными исследованиями [1], органическая составляющая содержит органические соли сульфокислот, которые являются поверхностно-активными соединениями и могут улучшить адгезию битума к минеральным материалам.

Одним из определяющих условий получения высококачественного асфальтобетона является хорошее сцепление битума с минеральным материалом, которое обеспечивается, прежде всего, хорошим смачиванием и химическим взаимодействием активных компонентов битума и минерального материала. Решение этой проблемы достигается применением адгезионных присадок, обладающих поверхностно-активными свойствами, способствующих усилению адсорбционных и хемосорбционных процессов на поверхности минерального материала [2].

В работе был исследован продукт нейтрализации кислого гудрона в качестве адгезионной добавки в битум. С этой целью в битум марки БНД 60/90 вводился продукт нейтрализации в количестве 2% мас. Определение качества сцепления битумного вяжущего с поверхностью щебня проводилось по ГОСТ 12801-98. Качество сцепления оценивают визуально по степени сохранности пленки битумного вяжущего на зернах щебня после его кипячения в дистиллированной воде. Полученные данные представлены на рис. 1.



а



б

Рис. 1. Оценка адгезионных свойств битума:

а – битум без добавки отхода;

б – битум с добавкой 2% продукта нейтрализации гудрона

Как видно из полученных данных добавка продукта нейтрализации значительно улучшает адгезионные свойства битума. При использовании адгезионных присадок уменьшается водонасыщение асфальтобетонной смеси и увеличивается коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении. Увеличивается предел прочности при сжатии после длительного водонасыщения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кононова В.Д.* Изучение продукта нейтрализации кислых гудронов прудов-накопителей НПЗ им. Д.И. Менделеева / В.Д. Кононова, С.Д. Тимрот // Семьдесят вторая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 24 апреля 2019 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2019. С. 419-422.
2. *Грушко И.М.* Дорожно-строительные материалы: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1991. 357 с.

УДК 504.5:632.954

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МНОГОМЕРНОГО
СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕЖСОРТОВОГО РАЗЛИЧИЯ
РЕАКЦИЙ ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР НА ПРИСУТСТВИЕ
В СРЕДЕ КСЕНОБИОТИКОВ**

И.Н. Тихонова, И.Г. Мигранова

Научный руководитель – **И.Г. Мигранова**, канд. биол. наук,
доцент

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Рассматривается возможность применения методов кластерного анализа для оценки межсортových различий в реакциях злаковых культур на присутствии в среде ксенобиотиков.

Ключевые слова: кластерный анализ, ксенобиотик, злаковые культуры, гербицид, глифосат, остаточные концентрации

**APPLICATION OF MULTIVARIATE
STATISTICAL METHODS ANALYSIS FOR ESTIMATION
OF INTER-VARIETY DIFFERENCE IN CEREALS RESPONSE
TO THE PRESENCE XENOBIOTICS IN THE CULTURE MEDIUM**

I.N. Tikhonova, I.G. Migranova

Scientific Supervisor - **I.G. Migranova**, Candidate of Biological
Sciences, Associate Professor

Ufa State Petroleum Technical University

The possibility of using cluster analysis methods for estimation of inter-variety difference in cereals response to the presence xenobiotics in the culture medium is considered.

Keywords: cluster analysis, xenobiotic, cereals, herbicide, glyphosate, residual concentrations

Эффективное использование сельскохозяйственных ресурсов не в последнюю очередь определяется оптимизацией агроэкологических показателей эксплуатируемых экосистем. Общемировая практика, обеспе-

чивающая необходимый уровень производства, к сожалению, приводит к ощутимым экологическим последствиям. Обработка почвы и культурных растений химическими реагентами различной природы и направленности действия, безусловно, решает поставленные задачи, но с другой стороны приводит к нежелательным последствиям не только на обрабатываемой территории, но и затрагивает сопредельные экосистемы. Например, известно, что сельскохозяйственные культуры усваивают менее 50 процентов вносимых в почву азотных удобрений, а остальная их часть теряется в окружающей среде, вызывая серьезные экологические проблемы. Применение пестицидов для повышения эффективности производства приводит к серьезному загрязнению компонентов окружающей среды. Даже следовые остаточные концентрации этих ксенобиотиков могут угнетающе действовать, в том числе и на культурные растения [1, 2]. Причем реакция растений на присутствие в среде ксенобиотиков может отличаться не только в зависимости от вида растений, но и наблюдается межсортовая гетерогенность.

Объектами изучения служили семена яровой пшеницы (сорт "Ватан", «Зарина»), овса посевного (сорт «Рысак») и ярового ячменя (сорт «Сыр Аруы»). Показатели, по которым оценивались различия в реакции растений на присутствие в среде гербицидов - длина корня, длина coleoptily и листа, индекс длины корня и coleoptily, степень всхожести, время экспозиции и концентрация ксенобиотика. Семена культивировали в течение пяти суток в лабораторных условиях в среде, содержащей различные концентрации гербицида избирательного действия - глифосата. Для оценки различий в реакциях изучаемых представителей злаковых культур был применен один из методов многомерного статистического анализа – кластерный анализ.

Кластерный анализ – это способ компоновки многомерных объектов, который заключается в предоставлении результатов некоторых исследований в виде точек подходящего геометрического пространства и дальнейшим выделением кластеров. Кластер (cluster) в переводе с английского языка означает «сгусток», «гроздь винограда», «скопление звезд» и т.д. [3]. В качестве объектов выступают конкретные предметы исследования, которые необходимо классифицировать, чаще всего наблюдения [4]. Методы кластерного анализа подразделяются на иерархические (метод Варда, метод взвешенного попарного среднего и др.) и неиерархические (метод k-средних, двухэтапный кластерный анализ, метод ближайших соседей) [5].

В ходе кластерного анализа (метод Варда, Statistica) экспериментальных данных были получены результаты, показывающие, что сходной реакцией на присутствие в среде глифосата обладают семена пшеницы яровой сорта «Ватан» и «Зарина», а также ячменя ярового сорта «Сыр

Аруы», тогда как овес посевной сорта «Рысак» был выделен в отдельный кластер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The glyphosate influence on cytogenetic and biochemical aspects of wheat (*Triticum aestivum* L) seedlings development / E.E. Stupak, I.G. Migranova, E.R. Sharafieva, N.N. Egorova, S.I. Stupak, V.I. Nikonov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. 315. С. 042018. doi: 10.1088/1755-1315/315/4/042018.
2. Влияние краткосрочного и длительного воздействия тяжелых металлов на окислительный стресс проростков *Triticum aestivum* L. / Э.Р. Кадырова, Э.И. Хизбуллина, Г.Г. Ягафарова, И.Г. Мигранова, Е.Э. Ступак // Башкирский химический журнал. 2017. Т. 24, № 6. С.46-51.
3. Кузнецов Д.Ю. Кластерный анализ и его применение / Д.Ю. Кузнецов, Т.Л. Трошина // Ярославский педагогический вестник. 2006. № 4. С. 103–107.
4. Кластерный анализ. URL: <https://www.statmethods.ru/statistics-metody/klasternyj-analiz/> (дата обращения 23.02.2021).
5. Методы кластерного анализа URL: <https://intuit.ru/studies/courses/6/6/lecture/182?page=3> (дата обращения 10.11.2021).

КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Д.В. Иванов, В.Ф. Юрьева, Е.С. Тягунова, М.В. Литвин

Научный руководитель – **М.В. Литвин**, ст. преподаватель

Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова

Рассматривается классификация и характеристика строительных материалов, как горючих, так и негорючих. В ходе выполнения работы была изучена и описана область применения строительных материалов различного типа и пожарной опасности.

***Ключевые слова:** горючесть, неорганические и органические материалы, токсические продукты горения*

CLASSIFICATION OF BUILDING MATERIALS IN THE FIELD OF FIRE HAZARD

D.V. Ivanov, V.F. Yurieva, E.S. Tyagunova, M.V. Litvin

Scientific Supervisor - **M.V. Litvin**, Senior Lecturer

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University

The characteristics and classification of building materials, both combustible and non-combustible, are considered. In the course of the work, the scope of application of building materials of various types and fire hazards was studied and described. The fire resistance of structures is increased through the use of various technological measures, often the use of flame retardants

***Keywords:** combustibility, inorganic and organic materials, toxic gorenje products*

В строительстве зданий и сооружений используются различные строительные материалы. Данная тема является актуальной, так как от выбранных для строительства материалов зависит пожароопасность зданий. Строительные материалы, используемые в постройке, выбирают в зависимости от функционала здания или помещения, от их назначения [1]. В 13 статье сказано, что строительные материалы характери-

зуются в зависимости от их пожарной опасности такими свойствами, как:

- воспламеняемость;
- горючесть;
- способность распространения пламени по поверхности;
- дымообразующая способность;
- токсичность продуктов горения.

Таблица 1. Показатели пожарной опасности

Токсичность продуктов горения ГОСТ 12.1.044	Воспламеняемость ГОСТ 30402	Дымообразующая способность ГОСТ 12.1.044	Горючесть ГОСТ 30244
T1 – малоопасные	B1 – трудно-воспламеняемые	D1 – малая	G1 – слабогорючие
T2 – умеренно опасные	B2 – умеренно-воспламеняемые	D2 – умеренная	G2 – умеренно-горючие
T3 – высоко опасные	B3 – легко-воспламеняемые	D3 – высокая	G3 – нормально-горючие
T4 – чрезвычайно опасные			G4 – сильно-горючие

Табл. 1 наглядно показывает основные показатели пожарной опасности, их категории и в каких ГОСТах данные показатели регламентируются.

По горючести строительные материалы подразделяются на негорючие (НГ) и горючие (Г), в свою очередь, горючие материалы подразделяются на следующие группы:

- сильногорючие (Г4);
- нормально-горючие (Г3);
- умеренно-горючие (Г2);
- слабогорючие (Г1).

Взяв во внимание вышеописанные факторы, к каждому строительному материалу присваивается класс пожароопасности: от КМ0 (негорючие строительные материалы) до КМ1- КМ5 (горючие строительные материалы).

Также строительные материалы можно классифицировать в зависимости от сырья, используемого при производстве:

- органические;
- неорганические;
- смешанные.

Неорганические строительные материалы – это в основном материалы минерального происхождения, такие как природный камень, кирпич, бетон или асбестоцемент. Все перечисленные материалы могут

быть изменены различного рода специальными добавками, всё они негорючие [3].

К горючим же относятся все неорганические материалы на основе полимеров.

Абсолютно все полимерные строительные материалы являются горючими, и их нельзя сделать негорючими путем химического преобразования, но зато можно уменьшить их пожароопасность. Для этого используют вещества, способные повысить огнестойкость материала – антипирены [2]. К ним относят:

- вещества, способные вступать во взаимодействие с полимером;
- добавки, создающие на поверхности препятствующий горению вспененный слой;
- вещества, которые могут смешиваться с полимером.

Самый распространенный строительный материал органического типа — это древесина и создаваемые из нее изделия. Они относятся к горючим веществам и также требуют специальной обработки антипиренами для снижения пожароопасности.

Третий тип строительных материалов – это смесь, состоящая из неорганических компонентов с органическими, их называют смешанными, и зачастую, это горючие материалы.

В строительстве зданий высокой этажности и протяженности используются только строительные материалы негорючего или сдатовной типа.

Таким образом, следует отметить, что выбор материалов, учитывая при этом классификацию строительных материалов в области пожарной опасности, является основополагающим, так как от данного выбора зависит жизнь и здоровье людей, а также сохранение материальных ценностей. Так как строительные материалы, менее горючие и более устойчивые к пожару, могут значительно снизить риск возникновения пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ пожарной безопасности на объектах промышленности в России: учеб. пособие для вузов / М.Н. Степанова, В.Н. Шульженко, Ю.В. Ветрова, В.Ю. Радоуцкий; под общ. ред. М.Н. Степановой. Белгород: БГТУ им. Шухова, 2019. 125 с.
2. Моделирование и прогнозирование чрезвычайных ситуаций: учеб. пособие для вузов / В.Ю. Радоуцкий, М.А. Латкин, С.А. Кеменов, М.Н. Степанова, В.Н. Шульженко; под общ. ред. В.Ю. Радоуцкого. Белгород: БГТУ им. Шухова, 2019. 198 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ОПАСНОСТИ ОСАДКА СТАНЦИИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Р.Э. Калаев, В.Е. Копылова, Н.Л. Маркелова, С.З. Калаева

Научный руководитель – **Н.Л. Маркелова**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье приводятся результаты определения класса опасности осадка станции обезжелезивания подземных вод расчетным методом.

***Ключевые слова:** осадок обезжелезивания подземных вод, токсичность, класс опасности*

DETERMINATION OF THE HAZARD CLASS OF THE SEDIMENT OF THE UNDERGROUND WATER DE-ICING STATION

R.E. Kalaev, V.E. Kopylova, N.L. Markelova, S.Z. Kalaeva

Scientific Supervisor - **N.L. Markelova**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article presents the results of determining the hazard class of the sediment of the underground water de-icing station by the calculation method.

***Keywords:** sediment of de-ironing of groundwater, toxicity, hazard class*

В России использование подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения составляет около 30% от общего объема водопотребления [1].

Железо является элементом, чрезвычайно осложняющим решение проблем водоснабжения во многих регионах мира. Необходимость очистки питьевой воды от железа вызвана, прежде всего, рядом нежелательных последствий эстетического, технического, экономического и органолептического характера: привкусы и цветность воды; следы на белье, посуде, кухонном и санитарном оборудовании; коррозия и забивание трубопроводов; вывод из строя бытовых умягчительных систем; пробле-

мы в пищевой, текстильной, целлюлозо-бумажной, химической и других отраслях промышленности; загрязнение продукции и материалов промышленного применения [2].

Объектом исследования работы является осадок станции обезжелезивания подземных вод, расположенной в пос. Некрасовское Ярославской области.

Цель работы – определить класс опасности данного отхода.

Токсичные отходы производства и потребления в зависимости от степени их вредного воздействия на окружающую среду и человека подразделяются на пять классов опасности.

Класс опасности отхода устанавливается по степени возможного вредного воздействия на человека и окружающую природную среду при непосредственном или опосредственном воздействии этой токсичной смеси, в том числе отходов производства и потребления, в соответствии с [3].

Отнесение отходов к классу опасности для окружающей природной среды расчётным методом осуществляется на основании показателя «К», характеризующего степень опасности отхода при воздействии на окружающую природную среду, рассчитанного по сумме показателей опасности веществ, составляющих токсичную смесь « K_i ».

Перечень компонентов отхода и их количественное содержание устанавливаются по составу исходного сырья, технологическому процессу его переработки или по результатам количественного химического анализа.

Показатель степени опасности компонента отхода « K_i » рассчитывается как соотношение концентрации компонента токсичной смеси « C_i » с коэффициентом его степени опасности « W_i », численно равному количеству компонента, ниже значения, которого он не оказывает негативных воздействий на человека и окружающую среду, т.е. $K_i = C_i / W_i$.

Показатель степени опасности отхода определяют как сумму показателей степени опасности отдельных компонентов сложной смеси:

$$K = K_1 + K_2 + \dots + K_n,$$

где K - показатель степени опасности токсичной смеси;

K_1, K_2, K_n – показатели степени опасности отдельных компонентов токсичной смеси.

При определении концентраций отдельных компонентов должно быть соблюдено условие $C_1 + C_2 + \dots + C_n = 10^6$ мг/кг, т.е. должны быть учтены все компоненты, входящие в токсичную смесь.

В табл. 1 представлен компонентный состав осадка станции обезжелезивания подземных вод [4].

На все компоненты, к которым применим расчетный метод, из справочной литературы находили первичные показатели опасности. По

найденным относительным параметрам « X_i » определяли коэффициенты степени опасности « W_i » для каждого компонента отхода. Далее определяли показатели степени опасности « K_i » для каждого компонента отхода и их сумму.

Таблица 1. Состав осадка станции обезжелезивания подземных вод

Показатель	Значение
Плотность, г/см ³	1,17–1,26
Кислотность, ед. рН	7,6–7,9
Влажность, % мас.	90-91
Содержание Fe _{общ} (в пересчете на Fe ₃ O ₄), % мас.	83,1–85,0
Содержание Si (в пересчете на SiO ₂), % мас.	2,3–5,4
Содержание Al (в пересчете на Al ₂ O ₃), % мас.	0,6–1,3
Содержание Ca (в пересчете на CaO), % мас.	2,6–4,8
Содержание Mg (в пересчете на MgO), % мас.	1,8–4,9

По результатам расчета суммарный показатель степени опасности « K » составил 98,4.

Степень опасности « K » находится в пределах $10^2 \geq K > 10,5$, следовательно, осадок станции обезжелезивания подземных вод относится к 4-му классу опасности – малоопасные отходы. Согласно критериям отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды [3], степень вредного воздействия опасных отходов на окружающую природную среду низкая. Экологическая система нарушена, период самовосстановления не менее трёх лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Янин Е.П. Осадок железосодержащих подземных питьевых вод (образование, особенности, проблемы утилизации) // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2008. № 4. С. 26–57.
2. Мушэ П. Биологическая деферризация воды: обоснование и реализация / П. Мушэ, Г.Н. Герасимов // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 11, ч. 2. С. 40-47.
3. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 4.12.2014 № 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду».
4. Калаев Р.Э. Исследование отхода водоподготовки станции обезжелезивания / Р.Э. Калаев, Д.А. Копылов, С.Д. Тимрот, Н.Л. Маркелова // Перспективы инновационного развития химической технологии и инженерии: Материалы II Междунар. Российско-Азербайджан. науч. конф., посвященной 880-летию Великого Азербайджанского поэта-просветителя Низами Гянджеви / Редкол.: Т.Р. Просочкина, Н.А. Самойлов и др. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2021. С. 197-198.

ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ СОРБЕНТОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

Р.Э. Калаев¹, А.В. Петровых², В.Е. Копылова¹,
С.З. Калаева¹

Научный руководитель – С.З. Калаева, канд. техн. наук, доцент

¹Ярославский государственный технический университет
²ГБУ ЯО Центр охраны окружающей среды

В статье рассматривается исследование получения магнитных сорбентов из техногенных отходов и применение их для очистки воды от нефтепродуктов.

Ключевые слова: сорбент, магнетит, активированный уголь, намагниченность насыщения, эффективность очистки, нефтепродукты

PRODUCTION AND APPLICATION OF MAGNETIC SORBENTS FROM MAN-MADE WASTE

R.E. Kalaev¹, A.V. Petrovyh², V.E. Kopylova¹,
S.Z. Kalaeva¹

Scientific Supervisor - S.Z. Kalaeva, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

¹Yaroslavl State Technical University
²GBU YAO Environmental Protection Center

The article discusses the study of obtaining magnetic sorbents from man-made waste and their use for water purification from petroleum products.

Keywords: sorbent, magnetite, activated carbon, saturation magnetization, purification efficiency, petroleum products

Проблемы загрязнения окружающей среды с каждым годом обостряются. Все более актуальной, в условиях снижения самоочищающей способности биосферы, становится проблема ликвидации токсичных веществ, входящих в состав техногенных отходов. К таким отходам относятся и железосодержащие отходы. Одним из способов утилизации железосодержащих отходов является получение из них магнитных сорбентов,

представляющих собой магнитный материал с высокими адсорбционными свойствами. Преимущества таких адсорбентов по сравнению с традиционными (не магнитными) состоят, во-первых, в том, что, обладая высокой сорбционной емкостью, они могут управляться при помощи магнитного поля, а во-вторых, в снижении стоимости по сравнению с сорбентами из чистого сырья.

Адсорбенты с магнитными свойствами могут применяться для контактной очистки веществ, что существенно упрощает адсорбционный процесс, исключая стадию отделения отработанного адсорбента от раствора, являющуюся одной из трудоемких, заменив ее магнитной сепарацией. Магнитные сорбенты используются для очистки сточных вод и сбора нефти с поверхности водоемов. Однако широкое использование сдерживается их высокой стоимостью. Получение магнитных сорбентов из техногенных отходов является одним из способов утилизации железосодержащих отходов, снизит стоимость сорбентов и расширит сферу их применения.

В настоящее время известен ряд магнитных сорбентов различного состава с высокими сорбционными свойствами, однако все технологии получения данных сорбентов предполагают наличие ряда оборудования и сложную технологию получения. Предлагаемые нами сорбенты просты в получении.

Целью исследования явилась разработка технологии утилизации техногенных отходов для получения магнитных сорбентов и исследование эффективности их применения.

Магнитные сорбенты состоят из магнетита и немагнитного сорбента. Магнетит получали химической конденсацией из железосодержащих отходов, а в качестве немагнитного сорбента был использован активированный уголь.

Известно, что при взаимодействии водных растворов солей двух- и трехвалентного железа и их совместном осаждении происходит образование магнетита в виде высокодисперсных частиц ($\text{Fe}^{2+} + 2\text{Fe}^{3+} + 8\text{OH}^- = \text{Fe}_3\text{O}_4 \downarrow + 4\text{H}_2\text{O}$) [1]. Взаимодействие может быть реализовано по реакции хлорного и хлористого железа (или сульфата двухвалентного железа). FeSO_4 входит в состав отхода производства титановых белил и отработанных травильных растворов. Другим компонентом может быть соль, полученная путем растворения пиритных огарков (FeS_2) – отхода химической промышленности, отхода металлургического производства, гальваншламов, а также отхода станции обезжелезивания воды, содержащих Fe (III). Разработана блок-схема получения магнитных сорбентов из железосодержащих отходов (рис. 1).

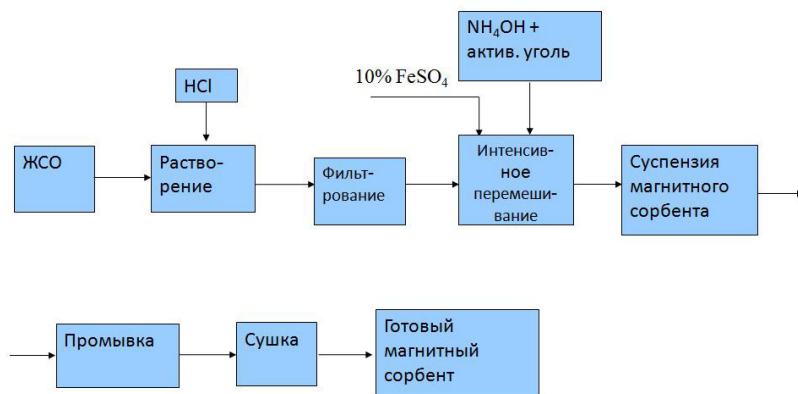


Рис. 1. Блок-схема получения магнитных сорбентов

В процессе работы нами были получены сорбенты с разным соотношением активированный уголь: магнетит. Результаты показали, что наиболее приемлемое соотношение активированный уголь: магнетит = 0,7:1. Варьировали также время перемешивание смеси. Характеристики полученных магнитных сорбентов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика полученных сорбентов

Сорбент	Соотношение уголь: магнетит	Время перемешивания, мин	Намагниченность насыщения, кА/м	Удельная поверхность, м ² /г
Сорбент №1	0,7 : 1	5	45	271
Сорбент №2		10	58	284
Сорбент №3		15	129	312
Сорбент №4		20	121	310
Сорбент №5 (из чистых компонентов)		15	165	320
Акт. уголь БАУ	–	–	–	162

Из табл. 1 видно, что полученные магнитные сорбенты обладают удельной поверхностью выше удельной поверхности БАУ (березовый активированный уголь), применяемого на производстве.

Полученный магнитный сорбент №3 был использован для очистки воды от нефтепродуктов с начальной концентрацией 100 г/дм³. Исследование проводилось в лабораторных условиях.

Этапы процесса очистки:

1. В сточную воду с концентрацией нефтепродуктов 100 мг/дм^3 распыляли магнитный сорбент в соотношении МС:НП 1:10.
2. Перемешивали в течение 1 минуты. Далее давали время выдержки 4 минуты для взаимодействия МС с НП.
3. Собирали омагниченные нефтепродукты с помощью электромагнита.

Результаты исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты исследования по очистке воды от нефтепродуктов с помощью магнитных сорбентов

Сорбент	Начальная концентрация нефтепродуктов, мг/дм^3	Конечная концентрация нефтепродуктов, мг/дм^3	Степень очистки воды, %
Магнитный сорбент	100	16	84
Активированный уголь (БАУ)		27	73
Магнитный сорбент из чистых компонентов		13	87

Показано, что полученные магнитные сорбенты могут применяться для очистки воды от органических примесей с эффективностью более 80%. Важным преимуществом является значительное снижение времени разделения очищенной воды с адсорбентом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Орлов Д.В. Магнитные жидкости / Д.В. Орлов, Ю.О. Михалев. М.: Машиностроение, 1993. 272 с.

АНАЛИЗ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ

Г.И. Мадаминова, И.Т. Каримов, А.С. Исомидинов

Научные руководители - **И.Т. Каримов**, д-р техн. наук, доцент;
А.С. Исомидинов, канд. техн. наук, доцент

Ферганского политехнического института, Узбекистан

В статье представлен лабораторный анализ для определения дисперсного состава и процентное содержание пыли в воздухе и газов, выбрасываемых в атмосферу предприятиями, производящими химические и строительные материалы, а также определены медианные размеры пыли, присутствующей на выбранных предприятиях.

***Ключевые слова:** запыленный газ, мокрый способ, жидкость, циклон, гидроциклон, скруббер, дисперсия, процентное содержание*

ANALYSIS OF THE DISPERSION COMPOSITION OF DUST PARTICLES SAMPLES

G.I. Madaminova, I.T. Karimov, A.S. Isomidinov

Scientific Supervisors - **I.T. Karimov** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; **A.S. Isomidinov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ferghana Polytechnic Institute, Uzbekistan

The article presents a laboratory analysis to determine the disperse composition and the percentage of dust in the air and gases emitted into the atmosphere by enterprises producing chemical and building materials, and also determines the median sizes of dust present at individual enterprises.

***Keywords:** dusty gas, wet process, liquid, cyclone, hydrocyclone, scrubber, dispersion, percentage.*

Введение

В состав пылевого воздуха и газов, выбрасываемых в атмосферу промышленными предприятиями, входят полидисперсные частицы разного размера. Монодисперсных пылевых частиц, т.е. составов, содержа-

щих частицы одинакового размера, практически не существует. Таким образом, для анализа полидисперсных аэрозолей и пылевых частиц необходимо иметь информацию о распределении размеров или общей доле частиц, соотношении частиц отдельных размеров, среднем размере частиц (медианный размер). Потому что эффективность очистки пылеочищающих аппаратов определяется в зависимости от этих параметров. Дисперсность пыли определяется как процент от общей массы фракции, находящийся в определенном промежутке значений, принимаемых за верхний и нижний пределы числа фракций или фракционного состава, т. е. размера частиц пыли

Объект исследования

Определение дисперсионного состава пыли имеет важное значение при определении эффективности очистки пылеочищающих устройствах мокрой очистки [7, 8, 10, 11]. С этой целью проведен анализ проб пыли в цехах крупных химических и строительных предприятий страны на дисперсионный состав. Анализировали пыль нитратных и карбамидных минеральных удобрений АО «Ферганаазот» и аммофосных удобрений АО «AMMOFOS-MAXAM», кварцевый песок и доломитовую пыль АО «Quvasoykvars», грунтовую и цементную пыль в ООО «TURON EKO SEMENT GROUP». Распределение этих пылевых частиц по дисперсионному составу и крупности проводили в два этапа: 1-й лабораторный анализ с использованием сита и 2-й микроскопии [1, 2].

Полученные результаты

На первом этапе измельчение пыли производилось в течение 5 минут на лабораторной модели бегуна LM-2E (innocent) и определены фракционный состав на лабораторной модели сортировочного сита RETSCH-DIN-ISO 3310/1 7-этапного сортирования.

Размер ситовых сеток был выбран равным 1, 3, 5, 10, 20, 40, 60 мкм. По полученным результатам пылевые частицы были разделены на фракции в процентном соотношении.

Ниже приведены химические свойства образцов пылей, выбранных в качестве модельных, а также полученные результаты лабораторного анализа.

Известно, что аммиачная селитра представляет собой взрывоопасный раствор нитрат аммония при 169,6 °С и является взрывоопасным и легковоспламеняющимся веществом. [3]. Относится к веществам средней степени опасности 3-го класса по степени воздействия на здоровье человека.

В качестве основного сырья при производстве аммиачной селитры используют разбавленный аммиак (70%) и азотнокислую соль (30%). Технологическая ситуация опасна тем, что технологический режим осуществляется при высоких температурах.

В процессе производства в грануляционной башне образуется нитратная пыль. В настоящее время для удаления пыли используется пленочный скруббер, установленный на верхней части башни.

Лабораторные анализы показали, что помольная нитратная пыль составляла 0 < 1 мкм 5%, 1÷3 мкм 9%, 3÷5 мкм 11%, 5÷10 мкм 25%, 10÷20 мкм 35% и 20÷40 мкм 15%, 40-60 мкм составляет 6%, а более 60 мкм 0% (табл. 1).

Из-за гигроскопических свойств порошка аммиачной селитры необходимо использовать жидкость с 20%-ным раствором азотной кислоты для полного впитывания в жидкость.

Минеральное удобрение карбамида [3]. Используются в качестве основного сырья для производства карбамида NH_3 (жидкий) и CO_2 (газ). Получение удобрения происходит в две стадии в экзотермической и эндотермической реакционной среде при давлении 183 °С и 13,4÷14,4 МПа.

Мочевина относится к высокоактивным веществам 2-го класса опасности по воздействию на здоровье человека. Удобрение проводят в грануляционной башне марке 9-602, чтобы оно выглядело гранулированным.

Основной источник пыли образуется в процессе грануляции. В настоящее время для удаления пыли используется пленочный скруббер, установленный на верхней части башни.

Результаты лабораторного анализа показали, что помолённая пыль карбамида составила 0 < 1 мкм 10%, 1÷3 мкм 15%, 3÷5 мкм 20%, 5÷10 мкм 21% 10÷20 мкм 30%, 20÷40 мкм 4%, более 40 мкм – 0% (см. табл. 1).

Благодаря гигроскопическим свойствам пыли карбамида он полностью впитывается в жидкость (воду).

Аммофосное удобрение [3]. Фосфат аммонийный, применяемый в качестве удобрения, производится по ДСТ 18918-85 марок А и Б. Химический состав удобрения 20÷30% P_2O_5 . Производство удобрений осуществляется в несколько последовательных процессов.

Основной источник пыли образуется в гранулирующем устройстве, а также в сушильном барабане. В настоящее время на барабане-грануляторе установлены для обеспыливания. циклон и насадочной скруббер, сушильного барабана установлено циклон

По результатам анализа помольная пыль аммофоса 0 < 1 мкм 3%, 1÷3 мкм 5%, 3÷5 мкм 13%, 5÷10 мкм 13% 10÷20 мкм 13%, 20÷40 мкм 37 % 40÷60 мкм 16% и более 60% 0% (см. табл. 1). Благодаря гигроскопическим свойствам порошка аммофоса он полностью впитывается в жидкость (воду).

Доломит [4, 5] применяют как дополнительный продукт при производстве строительного стекла и стекольных изделий (ГОСТ 23672-79). Общая доля продукта составляет 139÷247 кг на 1 тонну в зависимости от вида продукта.

Основной источник пыли образуется в процессе дробления и при сушки доломита. В настоящее время в сырьевом цехе для очистки от пыли используются циклоны и гидроциклоны.

По результатам лабораторного анализа помольного доломитовая пыль 0 < 1 мкм 7%, 1÷3 мкм, 8%, 3÷5 мкм, 13%, 5÷10 мкм 26% 10÷20 мкм 34%, 20÷40 мкм 10% были 40÷60 мкм и 2% были 0% больше 60% (см. табл. 1). Благодаря гигроскопическим свойствам доломитового порошка он полностью впитывается в жидкость (воду).

Кварцевого песка [6] используются как основной продукт в производстве строительного стекла и стекольных изделий (ГОСТ 22551-77). Общая доля продукта составляет 845÷882 кг на 1 тонну в зависимости от вида продукта.

Гранулометрический состав не должен превышать 0,05÷0,10 мм. Основной источник пыли образуется при сушке кварцевого песка.

При анализе дисперсного состава пыли кварцевого песка 0 < 1 мкм 1%, 1÷3 мкм, 2%, 3÷5 мкм, 7%, 5÷ 0 мкм 80%, 10÷20 мкм 7%, 20÷40 мкм 1% 40÷60 мкм 2% и более 60% 0% (см. табл. 1). В настоящее время для удаления пыли используются циклон и скруббер.

Благодаря гигроскопическим свойствам пыли кварцевого песка полностью впитывается в жидкость (воду). Почва [6] используется в качестве дополнительного продукта при производстве портландцемента и составляет 20-25% сырья.

Общая доля почвы составляет 200÷250 кг на 1 т в зависимости от марки портландцемента. Основной источник пыли образуется в процессе помола.

Анализ дисперсного состава почвенной пыли показал, что 0 < 1 мкм 13%, 1÷3 мкм 35%, 3÷5 мкм 25%, 5÷10 мкм 17% 10÷20 мкм 8%, 20÷60 мкм 2% и более 60 мкм 0% (см. табл. 1). В настоящее время на заводе используется гидроциклон для удаления почвенной пыли. Благодаря гигроскопическим свойствам почвенной пыли она полностью поглощается жидкостью (водой).

Процесс производства цемента осуществляется при высокой температуре в циклонном декорбонизаторе и комплексе вращающихся печей. Температура в декобонизаторе 700–750 °С, в зоне обжига вращающейся печи 1450–1500 °С.

Основным источником пыли является цементная пыль, смешанная с горячим воздухом, выходящим из декорбонизатора, и пыль, образующаяся в процессе помола клинкера в шаровой мельнице. Анализ

дисперсного состава цементного порошка следующий: 0 <1 мкм 11%, 1÷3 мкм 12%, 3÷5 мкм 14%, 5÷10 мкм 24% 10÷20 мкм 25%, 20÷40 мкм 12% 40 ÷ 60 мкм 8% и более 60 мкм 0% (см. табл. 1).

Таблица 1. Интервальное распределение и процент размеров пыли

Пыль аммиачной селитры								
Измерение пыли $d_{ч}$, мкм	0<1	1-3	3-5	5-10	10-20	20-40	40-60	60<
Процент, %	5	8	10	24	34	14	5	0
Пыль минерального удобрения мочевины								
Измерение пыли $d_{ч}$, мкм	0<1	1-3	3-5	5-10	10-20	20-40	40-60	60<
Процент, %	10	15	20	21	30	4	0	0
Пыль минерального удобрения Аммофос								
Измерение пыли $d_{ч}$, мкм	0<1	1-3	3-5	5-10	10-20	20-40	40-60	60<
Процент, %	3	5	13	13	13	37	16	0
Пылевые частицы доломита								
Измерение пыли $d_{ч}$, мкм	0<1	1-3	3-5	5-10	10-20	20-40	40-60	60<
Процент, %	7	8	13	26	34	10	2	0
Пыль кварцового песка								
Измерение пыли $d_{ч}$, мкм	0<1	1-3	3-5	5-10	10-20	20-40	40-60	60<
Процент, %	1	2	7	80	7	1	2	0
Пыль почвы								
Измерение пыли $d_{ч}$, мкм	0<1	1-3	3-5	5-10	10-20	20-60	60<	
Процент, %	13	35	25	17	18	2	0	
Пыль цемента								
Измерение пыли $d_{ч}$, мкм	0<1	1-3	3-5	5-10	10-20	20-40	40-60	60<
Процент, %	11	12	14	24	19	12	8	

В настоящее время на заводе используется гидроциклон для очистки от цементной пыли. Благодаря гигроскопическим свойствам цементная пыль полностью впитывается в жидкость (воду). Эффективность пылеочистки в пленочных и насадковых скрубберах, циклонах и гидроциклонных установках, применяемых для обеспыливания на указанных производствах, составляет 90-96% [9, 12]. На втором этапе методом оптической микроскопии определяли дисперсный состав пыли. Относительная погрешность анализа частиц

под биологическим микроскопом составляет $\pm 1,5\%$. Относительная погрешность измерений при усреднении значений составляет $\pm 3,4\%$ [6]. С помощью оптической микроскопии были сделаны фотографии каждого образца пыли. Волосяное волокно использовали в качестве масштаба для определения размера образцов пыли и делили на фракции в процентах. Средний медианный размер волосяного волокна составляет 40 мкм. Изображение получено на камеру DSM-310 и биологический микроскоп LANGDORPSESTENGER-1603201 SM001-CYANS. Обработку изображений проводили на основе компьютерной программы. Увеличение микроскопа составляло 400 раза, а процентное содержание образцов пыли в диапазоне $1\div 100$ мкм определяли путем сравнения размеров волосяного волокна. Образцы сделанных фотографий показаны на рис. 1. Таким же образом были определены другие образцы пыли.

Вывод

Погрешность между результатами лабораторного анализа между ситовым и микроскопическим методом составила $\pm 7\%$. В результате лабораторных исследований определен средний относительный размер пылевых частиц.

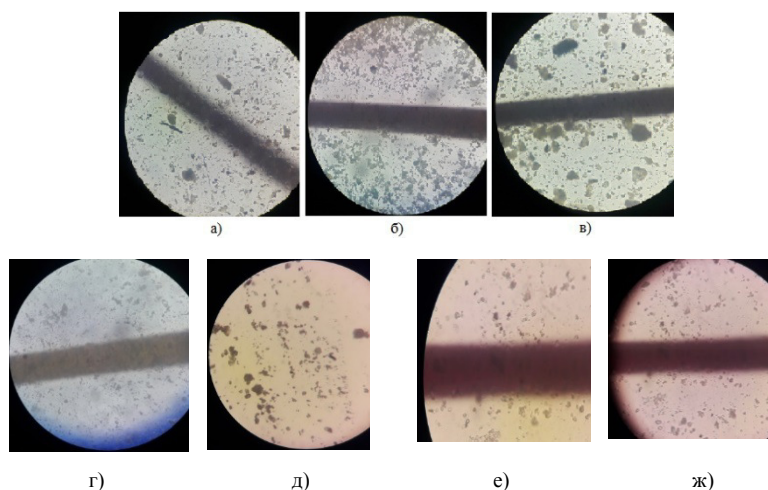


Рис. 1. Вид пыли, отобранных для образца, при увеличении в 400 раз под микроскопом SM001-CYANS
a – пыль аммиачной селитры; *б* – пыль карбомида; *в* – пыль аммофоса;
г - пыль доломита; *д* - пыль кварцового песка; *е* - пыль почвы;
ж - пыль цемента

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Исомидинов А.С.* Создание эффективные методы и устройства для очистка газов от пыли химической промышленности: дис. ... канд. техн. наук. Ташкент, 2020. 136 с.
2. *Исомидинов А.С.* Хўл усулда чангли газларни тозаловчи роторли курилма / А.С. Исомидинов, Р.Ж. Тожиев, И.Т. Каримов // ФарПИ илмий-техника журнали. 2018 Фар-она. 2018. №1. С. 195-198.
3. *Шамшидинов И.* Ноорганик моддалар ва минерал ўғитлар технологияси. Тошкент: Иқтисод-молия, 2014. 332 с.
4. *Раманков П.Г.* Сборник расчётных диаграмм по курсу процессов и аппаратов химической технологии / П.Г. Раманков, А.А. Носков. М.: Химия, 1977. 456 с.
5. *Бретинайдер С.* Свойства жидкостей и газов. Л.: Химия, 1969. 650 с.
6. *Эргацев Н.А.* Научно-технические основы использования в промышленности аппарата для мокрого пылеулавливания и газоочистки: дис. ... канд. техн. наук. Ташкент, 2021. 116 с.
7. *Мадаминова Г.И.* Барабанное устройства для мокрой очистки запыленного газа и воздуха / Г.И. Мадаминова, Р.Ж. Тожиев, И.Т. Каримов // *Universum: технические науки.* № 5 (86), ч. 4. М.: Изд-во "МЦНО", 2021. С.45-49.
8. *Исомидинов А.С.* Хўл усулда чангли газларни тозаловчи роторли курилма / А.С. Исомидинов, Р.Ж. Тожиев, И.Т. Каримов // ФарПИ илмий-техника журнали . 2018 Фар-она, 2018. №1. Б. 195-198.
9. *Домуладжанов И.Х.* Вредные вещества после сухой очистки в циклонах и фильтрах / И.Х. Домуладжанов, Г.И. Мадаминова // *Universum: техн. науки.* 2021. №. 6-1(87). С. 5-10.
10. *Wet method dust remover dlack drum device / I. Karimov, R. Tojiyev, G. Madaminova, Q. Ibroximov, O.T. Xamdamov // Барқарорлик ва Етакчи Тадқиқотлар онлайн илмий журнали, 2021. № 1(5). С. 57-63.0*
11. *Hydrodynamics of wet dush powder black drum equipment / I. Karimov, R. Tojiyev, G. Madaminova, Q. Ibroximov, O.T. Xamdamov // Барқарорлик ва Етакчи Тадқиқотлар онлайн илмий журнали. 2021. 1(5). 49-56.*
12. *Studying the Effect of Interior Scrubber Hydraulic Resistance on Cleaning Efficiency / A. Isomidinov, G. Madaminova, D. Qodirov, M. Ahmadaliyeva // International Journal of Innovative Analyses and Emerging Technology. 2021. 1(5). 87-93.*

АНТИСЕПТИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

В.Г. Козлова, А.В. Валуев, Н.Л. Маркелова

Научный руководитель – **Н.Л. Маркелова**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье представлена научная работа студентов, посвященная разработке антисептического вяжущего из отходов нефтеперерабатывающих производств. Определено влияние антисептических вяжущих на задержку роста микроорганизмов. Доказано, что антисептические вяжущие, содержащие в своём составе антисептик – NaF, с варьирующим процентом концентрации, задерживают рост микроорганизмов.

Ключевые слова: Антисептические вяжущие, высоковязкий нефтесодержащий отход, фтористый натрий, микроорганизмы

ANTISEPTIC BINDERS FROM INDUSTRIAL WASTE

V.G. Kozlova, A.V. Valuev, N.L. Markelova

Scientific Supervisor - **N.L. Markelova**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article presents the scientific work of students devoted to the development of an antiseptic binder from waste from oil refineries. The effect of antiseptic astringents on the growth retardation of microorganisms has been determined. It has been proven that antiseptic binders containing antiseptic - NaF in their composition, with varying percentages of concentration, delay the growth of microorganisms.

Keywords: Antiseptic binders, highly viscous oily waste, sodium fluoride, microorganisms

Одним из самых действенных способов увеличения срока службы древесины является обработка ее антисептиками – веществами, которые отравляют грибки, вызывающие гниение древесины. Антисептики должны обладать высокой токсичностью по отношению к грибкам, быть стойкими, не должны поглощать влагу и вымываться водой.

В то же время они должны быть безвредны для человека и домашних животных, хорошо проникать в древесину и не должны разрушать ее и металл и иметь неприятный запах [1].

В работе была испытана возможность применения высоковязкого нефтесодержащего отхода в качестве минерального поверхностно-активного вещества - твёрдого эмульгатора при производстве антисептических вяжущих.

Были приготовлены антисептические вяжущие следующего состава (табл. 1), где ВНО – высоковязкий нефтесодержащий отход, В – вода, Б – битум, NaF – фтористый натрий.

Таблица 1. Состав антисептического вяжущего

№ п/п	Состав антисептического вяжущего	Устойчивость вяжущего	Однородность на сите 1,25 мм, %	Однородность на сите 1,25 мм, % (ГОСТ 18659-2005)	Условная вязкость, с	Условная вязкость, с (ГОСТ 18659-2005)
1	ВНО - 20%; В - 55%; Б - 24%; NaF - 1%	Однородная	0,001	Не более 2%	10	5-20
2	ВНО - 41%; В - 20%; Б - 36%; NaF - 3%	Однородная	0,001	Не более 2%	15	5-20
3	ВНО - 56%; В - 13%; Б - 26%; NaF - 5%	Однородная	0,002	Не более 2%	20	5-20
4	ВНО - 55%; В - 13%; Б - 22%; NaF - 10%	Однородная	0,002	Не более 2%	20	5-20

По стандарту ГОСТ 18659-2005 [2] нормируются следующие показатели качества антисептических вяжущих: условная вязкость и однородность на сите 1,25 мм. Как видно из табл. 1, составы №1-4 полностью отвечают требованиям стандарта.

Представляло научный и практический интерес определить является ли полученное вяжущее антисептическим. Для этой цели были приготовлены растворы мясопептонного агара (МПА) в стерильных чашках Петри. В каждую чашку были высеяны бактерии из воздуха (обработка чашек проводилась в течение 5 мин). Образцы выдерживались в термостате при температуре 30-35⁰С в течение трёх суток. Антисептическая битумная паста содержала в своем составе от 1 до 10% NaF. Результаты экспериментов представлены на рис. 1-4 и в табл. 2.



Рис. 1. Образец 1 через 10 дней



Рис. 2. Образец 2 через 10 дней



Рис. 3. Образец 3 через 10 дней



Рис. 4. Образец 4 через 10 дней

Таблица 2. Динамика роста бактерий

Время инкубации	Вязущее с добавкой NaF 1%	Вязущее с добавкой NaF 3%	Вязущее с добавкой NaF 5%	Вязущее с добавкой NaF 10%
1 день	-	-	-	-
2 день	-	-	-	-
3 день	5% энтерококков	5% энтерококков	-	-
5 день	5% актиномицетов (белые)	5% актиномицетов	5% актиномицетов	-
10 день	45% актиномицетов (белые)	30% актиномицетов (белые)	9% актиномицетов (белые)	-

Антисептические вязущие из отходов нефтеперерабатывающего производства показали положительные результаты при испытании их на способность сдерживать рост микроорганизмов. Установлено, что с повышением количества антисептика в пасте рост микроорганизмов уменьшается. При содержании антисептика в пасте в количестве 10% колонии микроорганизмов не наблюдались.

Таким образом, определено, что антисептические вязущие из высоковязкого нефтесодержащего отхода, содержащие 10% фтористого натрия, полностью задерживают рост почвенных микроорганизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строительные материалы и изделия: учеб. пособие / В. С. Руднов [и др.]; под общ. ред. доц., канд. техн. наук И.К. Доманской. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. 204 с.
2. ГОСТ 18659-2005. Эмульсии битумные дорожные. Технические условия.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА УТИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕЙ ПЫЛИ

В.Е. Кочиков, С.В. Жеглов, К.М. Муратова

Научный руководитель – **К.М. Муратова**, канд. техн. наук,
ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Показан один из способов утилизации железосодержащей пыли в качестве компонента вспучивающей добавки для обжига глинистого сырья.

Ключевые слова: керамзит, железосодержащая пыль, глина

STUDY OF THE METHOD OF UTILIZATION OF IRON-CONTAINING DUST

V.E. Kochikov, S.V. Zheglov, K.M. Muratova

Scientific Supervisor - **K.M. Muratova**, Candidate of Technical
Sciences, Senior lecturer

Yaroslavl State Technical University

One of the ways of utilization of iron-containing dust as a component of an intumescent additive for firing clay raw materials is shown.

Keywords: expanded clay, iron dust, clay

Сферы использования керамзита, как и методы его получения, достаточно разнообразны. Самовспучивание глин при быстром обжиге при температуре до 1250–1300 °С происходит за счет образования вздутий, пузырей и других пороков изделий, в результате чего образуется легко пористый материал с мелкоячеистой структурой, обладающий высокими теплозащитными свойствами.

На эффективность обжига легкоплавких глинистых пород влияют физико-химические и пиропластические свойства самого глинистого сырья [1, 2]. Известно, что при изготовлении керамзитовых изделий (гравия, щебня, песка) с целью их облагораживания могут добавляться различные отходы производства например шлаки, зола, что в свою очередь может повысить эффективность вспучивания глины.

От значения коэффициента вспучивания ($K_{всп}$), равного отношению объема вспученного материала к объёму абсолютно сухого образца, различают слабо-, средне- и хорошо вспучивающиеся глинистые породы. Целью данной работы являлось повышение коэффициента вспучивания глинистой породы за счет введения в глину вспучивающих добавок (рис. 1) в виде суспензий из отработанного моторного масла и железосодержащей пыли горно-обогатительного комбината (в разных соотношениях: 60% на 40% в серии 1 и 40% на 60% в серии 2 соответственно).

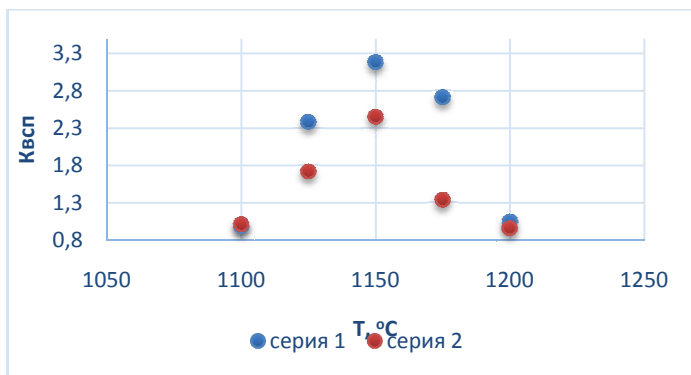


Рис. 1. Зависимость коэффициента вспучивания от температуры обжига

Анализ полученных данных, показывает, что процесс вспучивания глины при обоих введенных вспучивающих добавках лучше всего проводить при температуре обжига 1150 °C; более эффективной ($K_{всп}=3,18$) оказалась вспучивающаяся добавка из отработанного моторного масла и железосодержащей пыли в соотношении 60% и 40% соответственно (серия 1). Предлагаемый способ утилизации, как железосодержащей пыли, так и отходов органического происхождения, позволяет не только решать важнейшие экологические задачи переработки промышленных отходов, но и расширить сырьевые ресурсы в производстве строительных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Онацкий С.П.* Производство керамзита. М.: Стройиздат, 1987. 333 с.
2. ГОСТ 32026-2012. Сырьё глинистое для производства керамзитовых гравия, щебня и песка. Технические условия.

УДК 66.048

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОЯВЛЕНИЯ НЕФТЕШЛАМОВ И НЕОБХОДИМОСТИ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

А.А. Куклин, Е.В. Сыщанко

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

Вологодский государственный университет

Рассматриваются предпосылки возникновения нефтешламов и описана необходимость их переработки или утилизации. Отмечено негативное влияние нефтешламов на окружающую среду.

***Ключевые слова:** Блок разделения нефтешламов, выпарной аппарат, процессы тепло и массообмена*

ANALYSIS OF THE REASONS FOR THE APPEARANCE OF OIL SLUDGE AND THE NEED FOR THEIR PROCESSING

A.A. Kuklin, E.V. Sytsyanko

Scientific Supervisor - **E.V. Sytsyanko**, Senior Lecturer

Vologda State University

The prerequisites for the occurrence of oil sludge are considered and the need for their processing or disposal is described. The negative impact of oil sludge on the environment is noted.

***Keywords:** Separation oil slime unit, vaporizer, heat and mass exchange processes*

Нефтешламы, образующиеся на производстве в регионах Российской Федерации, имеют разные характеристики, и они отличаются экономическими и отраслевыми факторами развития производств. Различные твердые отходы генерируются при добыче и переработке нефти.

Нефтешлам представляет собой сложную смесь различных компонентов (вода, масло и твердое вещество). Он, как и другие отходы, как правило, формируется в процессе производства, эксплуатации, транспортировка, хранение и переработка нефти (атмосферный остаток, вакуумный остаток и остаток каталитического крекинга) и состоит из 30–50% нефти и 30–50% воды.

Наблюдая за производством и переработкой нефтепродуктов, можно определить основные источники и объемы нефтешламов в перспективе на ближайшие 100 лет. Нефтяной шлам можно считать твердым отходом, который имеет очень большие объемы в нефтегазовой отрасли промышленности.

Донные нефтешламы из резервуаров для хранения, масло-вода сепараторы (OWS), системы обессоливания масла или установки каталитического крекинга сильно различаются по схеме работы, а из-за высокой токсичности их нельзя выбросить, но их можно перерабатывать с другими отходами сгенерировано. OWS работает непрерывно, когда стоки попадают в OWS, твердые частицы удерживаются в нижней части оборудования, нефть отделяется от воды и примесей, и сточные воды сбрасываются в соответствии с нормами, требуемыми законодательством. Твердые отходы состоят в основном из частиц песка с нефтью и к ним следует относиться соответственно.

Маслянистые остатки на поверхности OWS следует смешивать в баке с дизельным топливом или мазутом единицу, если возможно ее повторное использование. До недавнего времени нефтешламы хранили в резервуарах либо вывозили на свалки, поэтому очень важно проработать этот вопрос в законодательстве для предотвращения экологических загрязнений.

В настоящее время защита окружающей среды происходит за счет сокращения или устранения твердых отходов, которые должны будут быть сожжены или засыпаны землей и генерируя возможный загрязнения.

Отходы также могут подвергаться совместной переработке, способствуя выработке электроэнергии, что даст незамедлительный экологический эффект.

Цель исследования состоит в том, чтобы охарактеризовать различные типы нефтяных отходов (шламов).

Таким образом, прежде чем приступить к разработке и совершенствованию оборудования по выпариванию влаги из нефтешламов, необходимо изучить их виды, состав и источники их появления. По результатам исследования планируется спроектировать и сделать теплотехнический расчет блока разделения нефтешламов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сурикова А.Н. Метод расчета теплопередачи в основном выпарном аппарате блока разделения нефтешлама // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: материалы Всерос. науч-практ. конф. Кемерово: КузГТУ, 2018.

2. *Сурикова, А.Н.* Основы создания микроклимата в помещениях жилых, общественных и коммунальных зданий: учебное пособие / Е.В. Сыцяно, А.Н. Сурикова. Вологда: ВоГУ, 2018. 71 с.
3. *Сурикова А.Н.* Процессы теплообмена при выпаривании влаги из нефтешламов // Теплоэнергетика: материалы Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Иваново: ИГЭУ, 2018. С. 54.
4. *Соловьева, Е.В.* Деформационные параметры вторичного поливинилхлорида / Е.В. Соловьева, А.Н. Сурикова // Вестник Вологодского гос. ун-та. Сер. Технические науки. 2021. № 1(11). С. 69-70.
5. *Surikova A.* Increasing the productivity of a plant for moisture evaporation from oil sludge by application of efficient method for technological parameters calculation / A. Surikova, E. Sytsyanko, E. Solov'Eva, L. Mukhametova // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 178. 01071.

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КИНЕТИКИ ВНУТРЕННЕЙ
ДИФФУЗИИ НА ПРОЦЕСС СОРБЦИИ ПРЯМОГО
БИРЮЗОВОГО СВ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ
ДРЕВЕСНЫМИ ОПИЛКАМИ**

К.А. Левина, А.В. Лысенко

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

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Работа посвящена изучению кинетики внутренней диффузии в процессе сорбции прямого бирюзового СВ из водных растворов. Для улучшения процесса сорбция осуществлялась модифицированными древесными опилками щавелевой кислотой и гидроксидом натрия. Рассчитаны параметры внутренней диффузии, построены зависимости G_t от $t^{0.5}$.

Ключевые слова: внутренняя диффузия, сорбция, модификация, целлюлозный сорбент, прямые красители

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF INTERNAL DIFFUSION
KINETICS ON THE SORPTION PROCESS OF DIRECT
TURQUOISE CB BY MODIFIED SAWDUST**

K.A. Levina, A.V. Lysenko

Scientific Supervisor - **A.V. Lysenko**, Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor

Southwest State University, Kursk

The work is devoted to the study of the kinetics of internal diffusion in the process of sorption of direct turquoise CB from aqueous solutions. To improve the process, sorption was carried out with modified sawdust with oxalic acid and sodium hydroxide. The parameters of internal diffusion are calculated, the dependences of G_t on $t^{0.5}$ are constructed.

Keywords: internal diffusion, sorption, modification, cellulose sorbent, direct dyes

Древесные опилки, образующиеся в результате деятельности деревообрабатывающих производств, являются отличным сырьем для вторич-

ного использования. Одним из способов можно указать использование их в качестве самых дешевых и доступных сорбентов.

В связи с остро стоящей экологической проблемой загрязнения водного бассейна планеты текстильными, целлюлозными, кожевенными производствами, содержащие в своих сточных водах большую концентрацию прямых красителей, которые оказывают пагубное воздействие на окружающую флору и фауну, применение древесных опилок в качестве сорбентов прямых красителей решает сразу две экологические проблемы: вторичное использование и очистка сточных вод.

Исследование зависимости влияния на кинетику внутренней диффузии в процессе сорбции прямого бирюзового СВ модифицированными древесными опилками проводили методом одноступенчатой статической адсорбции. Остаточную конечную концентрацию красителя (C_k , г/см³) определяли спектрофотометрическим методом с помощью ПЭ 5400УФ при максимуме светопоглощения для прямого синего – 611 нм [3]. Сорбцию осуществляли древесными опилками размером частиц не более 4,25 мм. Сорбент был подвержен модификации 1- и 5%-ными растворами щавелевой кислоты ($C_2H_2O_4$) и натрия гидроокиси (NaOH) [4].

Степень сорбции вычисляли по формуле

$$S = \frac{(C_0 - C_k) \cdot 100\%}{C_0}, \quad (1)$$

где C_0 - исходная концентрация, мг/дм³;

C_k - конечная остаточная концентрация, мг/дм³.

На рис. 1 показаны кинетические кривые сорбции красителя прямого бирюзового СВ различными модификациями сорбента.

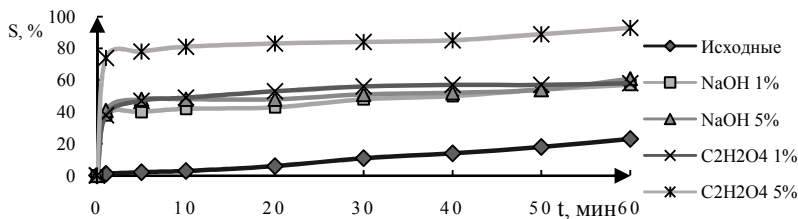


Рис. 1. Кинетические кривые прямого бирюзового СВ сорбции различными модификациями сорбента

Наилучший результат степени сорбции отмечен при модификации 5%-ным раствором $C_2H_2O_4$ - 93%. Остальные модификации расположились в диапазоне от 58 до 61%; 1%-ный раствор $C_2H_2O_4$ - 60%; 1%-ный раствор NaOH - 58%; 5%-ный раствор NaOH - 61%. Наихудший результат зафиксирован при сорбции исходными опилками - 23%.

Константы скорости внутренней диффузии K_d определяют по тангенсу угла наклона зависимости $\Gamma_t \cdot t^{0,5}$ к оси абсцисс.

Если зависимость $\Gamma_t \cdot t^{0,5}$ представляет собой прямую, которая не выходит из начала координат, она описывается уравнением

$$\Gamma_t = K_d \cdot t^{0,5} + A, \quad (2)$$

где A - отрезок, отсекаемый прямой зависимости $\Gamma_t = f(t)$ на оси ординат.

Доказательством того, что стадией, лимитирующей сорбционный процесс, является внутренняя диффузия, служит соблюдение прямолинейной зависимости в координатах $\Gamma_t \cdot t^{0,5}$ [5].

На рис. 2 изображена зависимость Γ_t от $t^{0,5}$ сорбции древесными опилками прямого бирюзового СВ.

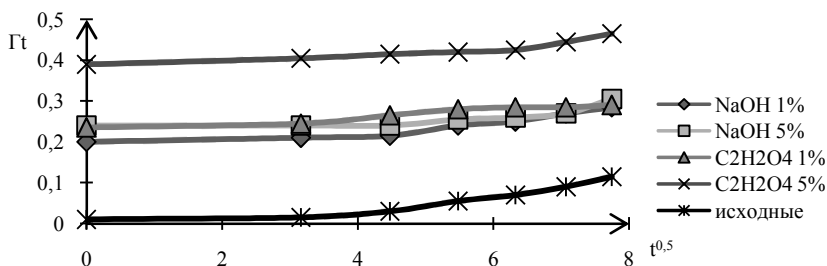


Рисунок 2. Зависимость Γ_t от $t^{0,5}$ сорбции прямого бирюзового СВ различными модификациями сорбента

Прямые зависимости $\Gamma_t \cdot t^{0,5}$ имеют достаточно высокую величину доверительной аппроксимации $R^2 = 0,800-0,999$.

Кинетические кривые сорбции описываются уравнением, которые позволяют найти параметры, которые определяют влияние внутренней диффузии на процесс сорбции.

Таблица 1. Данные расчета внутренней диффузии сорбции древесными опилками прямого бирюзового СВ

Сорбент	K_d	A
Исходный	0,0143	-0,0162
NaOH 1%	0,0255	0,1003
NaOH 5%	0,025	0,1199
C ₂ H ₂ O ₄ 1%	0,0272	0,1171
C ₂ H ₂ O ₄ 5%	0,0372	0,2158

Таким образом, в результате обработки кинетических кривых сорбции, были определены параметры, характеризующие внутреннюю

диффузию процесса адсорбции прямых красителей древесными опилками, которые представлены в табл. 1. Из полученных расчетных данных внутренней диффузии можно сделать заключение, что величина A пропорциональна толщине пленки, окружающей зерно адсорбента: чем она больше, тем больше влияние внутренней диффузии на адсорбцию красителей. Скорость внутренней диффузии возрастает при уменьшении толщины пленки.

Константа скорости внутренней диффузии, как и влияние пленочной диффузии на адсорбцию красителей из водных растворов, увеличивается аналогично внешнедиффузионным процессам.

Установлено, что процесс адсорбции идет в смешаннодиффузионном режиме. Поэтому для описания сорбции можно использовать традиционные методы кинетического анализа, которые учитывают в качестве лимитирующей стадии только внутреннюю или внешнюю диффузию.

Анализ полученных данных позволил сделать вывод о том, что модификация древесных опилок улучшает его качества как сорбента, а следовательно, повышает эффективность процесса сорбции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сазонова А.В.* Адсорбция кислотных красителей природными карбонатными породами // Известия Юго-Западного гос. ун-та. Сер.: Физика и химия. 2014. № 1. С. 69-74.
2. *Федотова О.В.* Процессы получения высокоэффективных сорбентов на основе целлюлозы / О.В. Федотова, П.Ю. Цыганков, Н.В. Меньшутина // Успехи в химии и химической технологии. 2020. №6 (229). С. 136-138.
3. *Сазонова А.В.* Концентрирование промышленных красителей из водных растворов карбонатными породами // Известия Юго-Западного гос. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 1. С. 236.
4. *Левина К.А.* Адсорбция прямых светопрочных красителей целлюлозным сырьем из водных растворов / К.А. Левина, А. Лысенко, Н.В. Кувардин // Известия Юго-Западного гос. ун-та. Сер.: Техника и технологии. 2021. Т. 11, № 1. С. 114-129.
5. *Сазонова А.В.* Перспективы использования природных сорбентов для очистки сточных вод от техногенных загрязнений / А.В. Сазонова, С.Е. Лямцев // Известия Юго-Западного гос. ун-та. Сер.: Техника и технологии. 2015. № 3 (16). С. 80-85.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.И. Матвиевский, К.Д. Скоробач, Ю.С. Рыжкова

Научный руководитель – **Ю.С. Рыжкова**, аспирант

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

Рассматриваются процессы очистки сточных вод предприятий ядерной промышленности, обеспечивающие водосбережение, экологическую безопасность и влияющие на надежную, экономичную и безопасную эксплуатацию предприятий.

***Ключевые слова:** атомные станции, очистка воды, сброс радиоактивных веществ, система фильтрации*

ENSURING THE SAFETY OF WASTEWATER NUCLEAR INDUSTRY ENTERPRISES

A.I. Matviyevsky, K.D. Skorobach, Yu.S. Ryzhkova

Scientific Supervisor - **Yu.S. Ryzhkova**, Postgraduate

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University

The processes of wastewater treatment of nuclear industry enterprises that ensure water conservation, environmental safety and affect the reliable, economical and safe operation of enterprises are considered.

***Keywords:** nuclear power plants, water purification, discharge of radioactive substances, filtration system*

Вода – незаменимый и ценный природный ресурс. Для нее отведена огромная роль в обменных процессах, которые являются основными в жизни. Если провести анализ сложившейся экологической ситуации за последние несколько лет в Российской Федерации, то мы увидим, что при проведении природоохранных мероприятий уровень загрязнения окружающей среды не снижается и остается так же недопустимо высоким.

Обеспечение безопасности сточных вод предприятий, особенно ядерной промышленности, очистка промышленных стоков, сегодня как никогда актуальна. В 2012 году 1 марта за номером 539 был издан Указ Президента РФ «Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» [4].

Для предотвращения попадания в водоемы загрязнений, определяются условия, регламентирующие сброс сточных вод, при соблюдении которых состав как качественный, так и количественный воды в водоеме не понижается ниже регламентируемых предельно допустимых концентраций. При проектировании очистных сооружений разрабатываются такие технические решения, которые максимально уменьшают негативное воздействие сточных вод на окружающую среду. Очищенные промышленные стоки после очистных сооружений, в зависимости от достигнутого качества очистки, при необходимости либо идут в систему водоборота или же происходит сброс в пруд-охладитель.

С самого начала при создании предприятий ядерного топливного цикла уделяли большое внимание всем аспектам безопасности, повышению надежности и работоспособности реакторного оборудования, разработке норм безопасности и определению степени риска в ядерной энергетике. Поэтому состояние окружающей среды вокруг АЭС благоприятнее, чем в других областях энергетике. При штатном режиме работы реактора эти сбросы не велики, поскольку АЭС оснащены эффективными системами очистки сбросов от радионуклидов и других вредных веществ. Эти системы удерживают все недопустимые с точки зрения экологии компоненты и не допускают их выхода за пределы технологических линий.

Любая работающая АЭС оказывает влияние на окружающую среду по трем направлениям: газообразные (в том числе радиоактивные) выбросы в атмосферу, выбросы большого количества тепла и неизбежное распространение вокруг АЭС какого-то количества жидких радиоактивных отходов. Сброс радиоактивных веществ – контролируемое поступление радионуклидов в водоемы с жидкими отходами ядерной установки (например, АЭС). Допустимый сброс – установленное для ядерной установки (например, АЭС) значение активности радионуклидов, поступающих во внешнюю среду со сточными водами.

Механическая очистка сточных вод. Это наипростейший механизм, который наглядно можно увидеть на наших улицах, в виде решеток, которые установлены на ливневых системах водоотведения, которые задерживают крупный мусор, листву, камни и многое другое. Они устанавливаются на входе перед очистными. Дальше стоки направляются по канализационным каналам на дальнейшую очистку в специальный аппарат называемый песколовкой. Их используют для удаления из стоков

частичек размером гидравлической крупности не менее 10 мм/с. Их устанавливают перед отстойниками-усреднителями, для того чтобы максимально снизить нагрузку на них.

В результате частички в сточной воде слипаются в хлопьеобразные рыхлые флоккулы. Эти методы в основном используются для обработки сточных вод, в которых содержатся эмульгированные частицы масел, нефтесодержащих продуктов, а также хроматы и фосфаты. После этого проводят процесс отстаивания или флотации.

Дальнейшее действия с хлопьевидной структурой можно разделить на следующие процессы переработки: это механическое обезвоживание с последующей подсушкой на иловых площадках, и обезвоживание осадка в центрифугах – это наиболее интенсивный метод [1].

Для отделения твердых мелких частичек или капелек жидкости из сточных вод применяют – флотацию (в переводе с французского языка flotter- плавать), это метод очистки воды основан на использовании микрочастиц разной степени смачиваемости.

Суть этого метода позволяет извлекать из сточных вод нужные ценные растворенные вещества, а очищенную воду повторно использовать в системе оборотного водоснабжения предприятия.

В связи с быстро растущими масштабами различных производств и повышенных требований к очищенной воде, приводит к изысканию более эффективных способов выделения загрязнений из стоков, для дальнейшего их возврата в водооборотное снабжение предприятия. Для этого успешно применяется сорбционная очистка воды. К достоинствам этого метода относятся: способность удаления широкого спектра загрязнений до требуемой концентрации. Сорбционной очисткой называют концентрирование загрязняющих веществ на поверхности или в порах данного материала. Одним из таких материалов является шунгит. На основании лабораторных опытов использование шунгита как сорбента проводились параллельно с активированным углем, и показало его высокие свойства как сорбента. Для осветления используют цеолит, у него имеются свойства сорбционные и ионообменные. Эти свойства направлены как на органические загрязнения, так и в отношении тяжелых металлов и радиоактивных веществ. На основе исследований признано, что порошкообразное состояние сорбента ускоряет процесс на 30% [2].

При работе АЭС и радиохимических заводов образуется значительное количество воды, содержащей тритий. Особенно много такой воды там, где используется ядерный реактор, в котором замедлителем является тяжелая вода. Утечка воды вызывает увеличение дозовых нагрузок на персонал, что приводит к необходимости смены воды. Тритий выделяется и при переработке ТВЭЛов, накапливаясь как в водной, так и в органической фазе. Обычно его переводят в тритиевую воду путем каталитического сжигания.

Вода, содержащая тритий, подлежит захоронению и переработке. Снижение концентрации трития в воде до биологически опасной нормы путем разбавления недопустимо. От тритиевой воды избавляются закачкой ее в старые нефтяные скважины или в глубинные образования, имеющие водонепроницаемые пласты как сверху, так и снизу. Другой способ основан на пропускании воздуха, содержащего пары тритиевой воды над адсорбентами, в качестве которых, например, могут выступать кристаллогидраты (хорошие результаты дает применение фосфорной керамики). Адсорбенты или кристаллогидраты, содержащие тритий, захоранивают как твердые отходы. Более кардинальный способ основан на разложении воды (каталитическим, химическим и электролитическим методами), выделении водорода и последующем разделении его изотопов [3].

Отделение T20 от D90 и H20 – сложная задача, так как концентрация трития в тяжелой воде мала и коэффициенты разделения (особенно нары T20 от D20) малы. Аппаратура для разделения реализует каталитический изотопный обмен (используется гидрофобный катализатор — платина на полисорбе) – жидкая вода – водород, при котором происходит извлечение трития, дейтерия и протия из тяжелой воды и перевод их в газовую фазу. Электролизер с твердополимерным электролитом позволяет полностью превращать воду в обогащенный тритием водород и кислород. Смесь изотопов водорода подается на ректификационную колонну. За счет массообмена происходит концентрирование трития в нижней части колонны, а протия – в ее верхней части. Тритий хемосорбируется активированным титаном с образованием гидрида титана и направляется на хранение.

Глубокая очистка сточных вод обеспечивает доведение качества очищенных сточных вод до нормативных требований, которые позволяют повторное использование очищенных вод в производственных процессах, спуск их в естественный или искусственный водоем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Асмолов В.Г.* Российская ядерная энергетика сегодня и завтра // Теплоэнергетика. 2007. № 5. С. 2–6.
2. *Ахобадзе Г.Н.* Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов и тяжелых металлов // Экология производства. 2011. 152 с.
3. *Колесников В.А., Менишутина Н.В.* Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод. М.: ДеЛи принт, 2005. 266 с.
4. *Рябчиков Б.Е.* Очистка жидких радиоактивных отходов. М.: ДеЛи принт, 2008. 512 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ КОМПЕТЕНЦИИ ШКОЛЬНИКОВ В СРЕДЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ЯГТУ

А.Р. Сандаков, Е.А. Путина, С.З. Калаева, Е.А. Королева

Научные руководители – **С.З. Калаева**, канд. техн. наук, доцент,
Е.А. Королева, ассистент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются вопросы комплексного подхода к формированию экологической компетенции школьников с целью повышения уровня экологической культуры и профессиональной ориентации. Определены цели и задачи экологического образования. Исследована система экологического образования и воспитания школьников в рамках сотрудничества образовательных организаций региона и кафедры «Охрана труда и природы» ЯГТУ. Разработан проект непрерывного экологического образования школа-ВУЗ.

Ключевые слова: экологическая компетенция, экологическое образование, проектно-исследовательская деятельность, уровень экологических знаний

FORMATION OF ECOLOGICAL-ORIENTED COMPETENCE OF SCHOOLCHILDREN IN THE ENVIRONMENT OF PRO- FESSIONAL EDUCATION OF YSTU

A.R. Sandakov, E.A. Putina, S.Z. Kalaeva, E.A. Koroleva

Scientific adviser - **S.Z. Kalaeva**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, **E.A. Koroleva**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

The issues of an integrated approach to the formation of environmental competence of schoolchildren in order to increase the level of environmental culture and professional orientation are considered. The goals and objectives of environmental education are defined. The system of ecological education and upbringing of schoolchildren in the framework of cooperation between educational organizations of the region and the Department of Labor and Nature Protection of YSTU is studied. A project of continuous environmental education school-university has been developed.

Keywords: environmental competence, environmental education, design and research activities, the level of environmental knowledge

Техногенное развитие цивилизации стремительно меняет ситуацию на планете. На фоне все возрастающего объема потребляемых ресурсов идет наращивание количества токсичных отходов, уничтожающих и разрушающих экосистемы и биосферу земли. Ухудшение состояния окружающей среды ставит под угрозу здоровье людей и снижает качество их жизни. Понимание важности правильного поведения по отношению к природе, умения предвидеть и оценивать последствия своей деятельности должно обеспечивать экологическое образование молодежи.

В Ярославской области законом «Об экологическом образовании, просвещении и формировании экологической культуры» определена цель экологического образования, как создание современной практико-ориентированной образовательной среды, способствующей формированию у детей и молодежи экологической грамотности, экологически ответственного поведения. Задачами в этой сфере являются:

- 1) Формирование точных экологических взглядов;
- 2) Формирование взаимоотношений человек-природа;
- 3) Создание системы умения взаимодействовать с природой.

В системе общего образования экологическое образование развито недостаточно, поэтому приоритетным становится значение дополнительного экологического образования, выполняющего ряд функций, позволяющих создать каждому обучающемуся достойные условия для овладения новыми, экологическими знаниями, для развития собственных способностей и самореализации во внеурочной деятельности обучающегося.

Одним из субъектов обеспечивающих реализацию экологического образования является Ярославский государственный технический университет (далее ЯГТУ). На кафедре «Охрана труда и природы» организованы мероприятия дополнительного экологического образования для школьников разного уровня обучения.

Цель проводимых мероприятий – формирование и развитие у детей экологической культуры и экологического мышления.

Анализ мероприятий показал, что деятельность кафедры ведется в трех направлениях, представленных в табл. 1.

Современная образовательная среда университета позволяет получить образование от начальных, базовых знаний по экологии до создания собственного проекта по снижению антропогенного воздействия на природу. Изучение окружающей среды и ее свойств, принципы взаимодействия с природой, рациональное использование природных ресурсов, безотходное производство, – вот неполный перечень вопросов, рассматриваемых в ходе обучения на кафедре.

Таблица 1. Направления деятельности по экологическому образованию

№	Содержание деятельности	Способы реализации
1	Развитие проектно-исследовательской деятельности учащихся в области естественных наук	Организация научно-исследовательской работы школьников
		Организация, проведение и участие во всероссийских, региональных и городских экологических проектах
2	Научно-методическое обеспечение	Научно-методическое обеспечение экспертной работы
		Научно-методическое обеспечение разработки и создания дополнительных образовательных программ
3	Формирование у детей основ экологической культуры и осознанного правильного отношения к природе	Экопознавательные и профориентационные занятия и мастер-классы
		Развитие практической природоохранной деятельности

С целью подготовки детей, владеющих знаниями и умениями современной исследовательской деятельности в области экологии, разработан проект непрерывного экологического образования школа-ВУЗ, позволяющий внедрить в образовательный процесс исследовательскую и экспериментальную деятельность, развить навыки самостоятельной изобретательской работы. В ходе проекта реализуется образовательная деятельность учащихся в окружающей среде наиболее приближенной к жизни. Это позволяет решать задачи личностного развития учащихся, достижения ими предметных и метапредметных образовательных результатов, а также позволяет на наиболее ранних стадиях подготовки осуществить профессиональную ориентацию.

На рис.1 представлены этапы проекта от начального уровня общеобразовательной школы, до обучения в вузе.

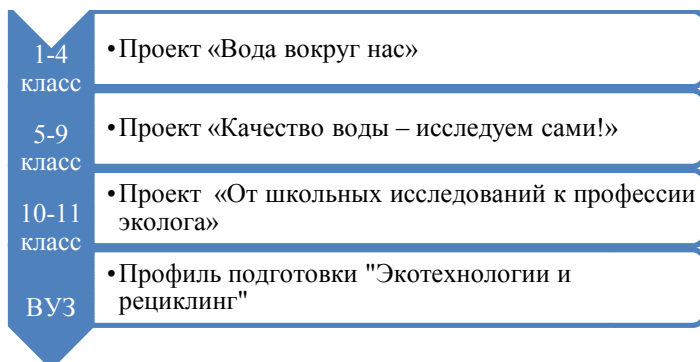


Рис. 1. Этапы проекта непрерывного экологического образования школа-ВУЗ

Таким образом, происходит непрерывное, целостное, комплексное экологическое образование, начиная с начальных классов и заканчивая обучением в вузе по экологической специальности, а разработанные проекты способствуют профессиональной ориентации школьников, которые являются потенциальными абитуриентами вуза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон Ярославской области "Об экологическом образовании, просвещении и формировании экологической культуры в Ярославской области (с изменениями на 29 ноября 2018 года)" от 14.04.2017 № 12-з // Официальный интернет-портал правовой информации. 2017 г. № 28. с изм. и допол. в ред. от 29.1.2018.
2. Постановление Правительства Ярославской области "Об утверждении областной целевой программы «Развитие дополнительного образования детей в Ярославской области» на 2019–2024 годы" от 25.04.2019 № № 323-п // Государственная эталонная база данных правовых актов Ярославской области. 2019
3. *Дзятковская Е.Н.* Методические рекомендации по реализации экологического образования в федеральных государственных стандартах второго поколения / Е.Н. Дзятковская, А.Н. Захлебный, А.Ю. Либеров. М.: Образование и экология, 2011. 32 с.

УДК 574.5

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ

Э.М. Сафиуллин, В.В.Соловьева, Е.Л. Никитина

Научный руководитель - **Е.Л. Никитина**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Высокая степень эвтрофирования искусственных водоемов в современных условиях является доминирующей проблемой. Для улучшения качества водного объекта необходимо использование комбинированных систем водоочистки, включающие механические и биологические методы.

***Ключевые слова:** рекреационная зона, эвтрофикация, минерализация, бихроматная окисляемость*

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF ARTIFICIAL RESERVOIRS

E.M. Safiullin, V.V. Solovyova, E.L. Nikitina

Scientific Supervisor - **E.L. Nikitina**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The high degree of eutrophication of artificial reservoirs in modern conditions is the dominant problem. To improve the quality of a water body, it is necessary to use combined water treatment systems, including mechanical and biological methods.

***Keywords:** recreational zone, eutrophication, mineralization, bichromate oxidability*

Большое градостроительное значение приобретают природные компоненты архитектурно-планировочной структуры города – зеленые насаждения и водоемы, активно способствующие оздоровлению городской среды [1]. Значительное количество искусственных водоемов Ярославля в настоящее время находится в неблагоприятном состоянии: берега водоемов и акватория завалены бытовым и строительным мусором, дно водоемов заилено, поверхность воды покрыта масляной пленкой, берегозащитные сооружения разрушены, берега эродированы, качество

воды в водоемах не соответствует санитарно-гигиеническим нормам, биоразнообразию живых организмов водоема снижено.

Пруды и обводнённые карьеры, расположенные в границах земельных участков, принадлежат на праве собственности муниципальному образованию в соответствии со ст. 27 Водного Кодекса РФ, а следовательно, в полномочия органов местного самоуправления относится осуществление мер по охране таких объектов [2].

Парк Нефтяник – зеленая рекреационная часть города. Один из основных объектов парка – это пруд, который находится в неудовлетворительном состоянии: засорен отходами и ливневыми водами с улиц Павлова и Курчатова. Берега водоёма низкие, в основном задернованные. Левый берег широко используется населением как зона отдыха. Он очень пологий, а дно в самой мелководной зоне песчаное. На этом берегу имеются специальные посадки берёз. В Красноперекопском районе г. Ярославля также имеется объект культурного наследия – загородная усадьба представителя древнего дворянского рода Коковцова Николая Ивановича. Место для усадьбы выбрано очень удачно. Два пруда находятся под углом, и большой парк вокруг делают усадьбу очень живописной. Конфигурация пруда в настоящее время видоизменилась, зеркало пруда разделилось на две части: большую восточную, перед парадным фасадом главного дома и меньшую западную, расположенную к юго-западу от торцевого фасада особняка. От роскошного некогда парка осталось совсем немного, пруды заросли, а в реку Дунайку выбрасывают мусор.

Таким образом, целью работы является оценка экологическое состояние прудов Красноперекопского района г. Ярославля. Установлено, что вода прудов характеризуется очень малой минерализацией с содержанием растворенных солей 93 мг/дм^3 . Минеральный состав определяет водно-солевой обмен гидробионтов, так как соли являются источником биогенных элементов и необходимых веществ для живых организмов и обеспечивают протекание биохимических и физиологических процессов. Низкие значения минерального состава значительно сказываются на снижении численности обитателей водоемов. Основными источникам органических веществ являются соединения, образующиеся в самом водоеме (автохтонные) и поступающие с водосборной площади или атмосферными осадками (аллохтонные). Химический анализ показал, что в воде исследуемых водоемов отмечается повышенное содержание труднорастворимых органических веществ гумусового происхождения, о чем свидетельствуют высокие показатели цветности и бихроматной окисляемости. Обогащение воды органическими веществами в прудах происходит за счет поступления органики с водами заболоченных территорий. Рассчитан ИЗВ для прудов усадьбы, который составил 1,2, что соответ-

ствуется 3-му классу качества - умеренно загрязненные. ИЗВ в пруду Нефтяник соответствует 4-му классу загрязненности – загрязненный (рис. 1).

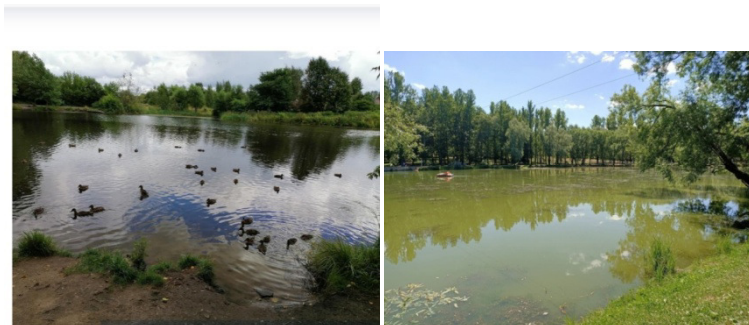


Рис. 1. Общий вид прудов усадьбы и парка “Нефтяник”

Необходимым условием, обеспечивающим функционирование водоема, является сочетание механических и биологических методов очистки [3]. В процессе очистки нейтрализуются последствия органического и биогенного загрязнения и эвтрофирования водоема, восстанавливается биологическое равновесие, многократно интенсифицируется микробиологическое самоочищение воды от патогенных и условно патогенных микроорганизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобуничева Е.В. Оценка экологического состояния малых водоёмов: Учебное пособие / Е.В. Лобуничева, М.Я. Борисов, И.В. Филоненко, Д.А. Филиппов. Вологда, 2013. 218 с.
2. Российская Федерация. Законы. Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон № 74-ФЗ от 03.06.2006 (ред. от 02.07.2021).
3. Муниципальная программа «Снижение антропогенного воздействия на окружающую среду города Ярославля» на 2015-2017 годы. URL: https://city-yaroslavl.ru/upload/iblock/147/PRG_Anthropogenic_Project.pdf?ysclid=l1xbwr9jwg

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВРЕДА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Е.С. Сергеев, О.П. Филиппова

Научный руководитель – **О.П. Филиппова**, д-р техн. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

Представлены результаты исследования методов оценки вреда от загрязнений окружающей природной среды, характеристика прямого и косвенного методов оценки вреда и рассмотрены особенности возникновения или проявления вреда

***Ключевые слова:** вред от загрязнения окружающей среды, методы оценки вреда, контрольные районы, аналитические зависимости, качество окружающей природной среды, нормативные показатели*

MODERN METHODS OF ESTIMATION OF DAMAGE FROM POLLUTION OF NATURAL ENVIRONMENT

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 of valuation procedure of impairment from environmental pollution, the characteristics of direct and indirect methods of impairment assessment and considered the features of the occurrence or manifestation of impairment.

***Keywords:** impairment from environmental pollution, valuation procedure of impairment, control area, analytical dependence, environmental quality, statutory indicator*

Человек, с самого начала развития человеческого общества, оказывал воздействие на окружающую среду. И если на этапах «первобытного общества» и «аграрной цивилизации» антропогенная нагрузка не противодействовала восстановительной способности природы, то на эта-

пе «промышленной цивилизации», в результате научно-технической революции, произошли кардинальные изменения во взаимоотношении общества с природой. Современное человечество активно наращивает темпы потребления природных ресурсов, причем промышленное производство все в большей степени противоречит естественному круговороту веществ в природе и нарушает его, направляя в окружающую среду отходы в неусваемой форме – загрязнители окружающей природной среды.

Рост загрязнения окружающей среды, осуществление природоохранных мероприятий – все это отражается в затратах и потреблении живого и овеществленного труда, а также оказывает количественное и качественное влияние на производство и использование потребительных стоимостей в народном хозяйстве. Поэтому, в настоящее время широкое распространение получили методики определения вреда нанесенного окружающей природной среде [1].

Под нанесенным окружающей среде вредом понимается денежная оценка негативных изменений в ее состоянии в результате загрязнения, в качестве и количестве природных ресурсов, а также последствий таких изменений [2]. Основные виды вреда представлены на рис. 1.

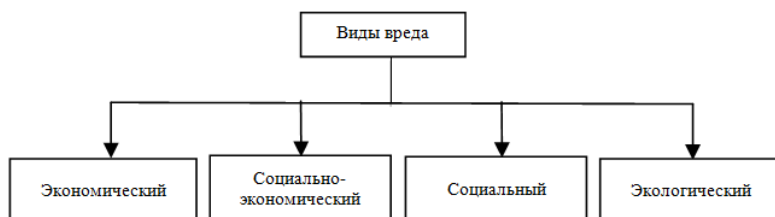


Рис. 1. Виды вреда

Вред складывается из суммарных основных локальных вредов и его величина зависит от ряда факторов:

- а) величины и степени загрязнения компонента окружающей природной среды;
- б) элемента восприятия – объектов, воспринимающих воздействие этого загрязнения;
- в) элемента состояния, отражающего уровень нормативных экономических показателей: величины продукции, произведенной рабочим персоналом в течение производственного дня, всевозможные выплаты больничного характера в пределах рабочего дня и так далее.

Определение размера вреда окружающей среде осуществляется исходя из фактических затрат на восстановление нарушенного состояния

окружающей среды, с учетом убытков (в том числе упущенной выгоды). При этом также учитываются проекты рекультивационных и иных восстановительных работ, а в случае их отсутствия – таксы и утвержденные органами исполнительной власти методики исчисления размера нанесенного окружающей среде вреда.

На сегодняшний день, большинство методик исчисления оценки вреда окружающей среде в Российской Федерации (рис. 2) ориентированы на расчет вреда через систему экономических показателей хозяйственной деятельности [3].



Рис. 2. Методики оценки вреда природным ресурсам

При оценке вреда от загрязнения используется два основных методологических подхода: прямой счет и косвенный подход (таблица 1).

Оценка вреда прямым счетом требует сбора и обработки большого объема информации, и, как правило, служит лишь инструментом для создания информационной базы при разработке косвенных методов определения вреда. Качество окружающей природной среды оценивается по степени отклонения ее фактических параметров от «эталонных» значений, характеризующих нормальное состояние окружающей среды.

Косвенный подход предполагает использование системы нормативных показателей, фиксирующих зависимость негативных последствий от основных вредообразующих факторов. В связи с этим метод более применим к негативным процессам, имеющим массовый характер.

Таблица 1. Подходы к оценке вреда

Прямой счет			Косвенный подход
Метод контрольных районов	Метод аналитических зависимостей	Комбинированный метод	
основан на сравнении показателей состояния реципиентов загрязненного и контрольного (незагрязненного или условно чистого) районов при оценке элементов натурального вреда	основан на статистической обработке фактических данных о влиянии различных факторов на изучаемый показатель состояния реципиента	основан на сочетании методов контрольных районов и аналитических зависимостей	основан на принципе перенесения общих закономерностей на конкретный исследуемый объект

В результате работы установлено, что каждый входящий показатель, используемый при расчете величины вреда, выполняет определенную функцию. Обычно с разной степенью детализации учитывается характер загрязняющего вещества и его распространения, состояние загрязняемой территории. Однако схожесть данных методов также объединяет ряд общих недостатков, связанных, с принятыми допущениями данной модели

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Степановских А.С.* Экология: Учебник для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 703 с.
2. Типовые расчеты и практические задания по курсу «Эколого-экономическое обоснование технологий»: учеб.-метод. пособие / О.П. Филиппова, Е.А. Королева, Н.Л. Маркелова, С.З. Калаева, Е.С. Сергеев. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2021. 68 с.
3. *Медведева О.Е.* Методы стоимостной оценки экологического ущерба (Часть 1). URL: https://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=2600

ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ МЕТОДОМ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ

Е.С. Сергеев, А.М. Геннадьева, О.П. Филиппова

Научный руководитель – **О.П. Филиппова**, д-р техн. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

Представлены результаты исследования способа защиты от вибрации методом виброизоляции с помощью пружинных и резиновых виброизоляторов и определения их эффективности.

Ключевые слова: *вибрация, защита от вибрации, виброизоляция, вибро-скорость*

VIBRATION PROTECTION BY VIBRATION ISOLATION METHOD

E.S. Sergeev, A.M. Gennadieva, 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 of the method of vibration protection by vibration insulation with the aid of spring and rubber vibration insulators and determination of their effectiveness.

Keywords: *vibration, vibration protection, vibration insulation, vibration velocity*

Вибрация – один из наиболее распространенных неблагоприятных техногенных факторов, в условиях воздействия которых трудится и живет множество людей [1]. Как фактор производственной среды, вибрация встречается в металлообрабатывающей, горнодобывающей, строительной, металлургической, машиностроительной промышленности, в сельском хозяйстве, на транспорте и других отраслях народного хозяйства. Помимо этого, огромная часть людей ежедневно подвергаются воздействию вибраций в жилых помещениях, причины которых могут быть как внешними (движение городского рельсового транспорта, автотранспорта

и другое), так и внутренними (работа лифтов, вентиляционной системы, работа встроенных предприятий торговли и другое) [2].

Несмотря на возможное положительное влияние вибрации, в большинстве случаев на производстве она может вызвать нарушение механической прочности и герметичности аппаратов и коммуникаций, или привести к различным нарушениям здоровья человека: изменениям в нервной и сосудистой системах, опорно-двигательном аппарате, а также других системах и органах, что со временем может привести к развитию профессионального заболевания – вибрационной болезни.

Длительное воздействие высоких уровней вибрации на организм человека приводит также к развитию преждевременного утомления, снижению производительности труда, росту общей заболеваемости и травматизма [3].

Вследствие опасности воздействия вибрации на организм человека, особую роль занимает вопрос о разработке и внедрении комплексной системы вибробезопасности, включающей гигиенические нормативы, комплекс профилактических мероприятий, в том числе режимов труда и отдыха для лиц виброопасных профессий.

Наиболее действенным средством защиты человека от вибрации является устранение непосредственного контакта с вибрирующим оборудованием. Это осуществляется путем применения дистанционного управления, промышленных роботов, автоматизации и замены технологических операций.

При невозможности устранения контакта оператора с вибрирующим устройством, защита от вибрации проводится путем:

а) снижения вибрации в источнике ее возникновения за счет снижения действующих в системе переменных сил (например, путем тщательной балансировки вращающихся частей);

б) уменьшения вибрации на пути ее распространения с помощью виброизоляции, виброгашения и вибродемпфирования (вибропоглощения);

в) установления рациональных режимов труда и отдыха;

г) использования средств индивидуальной защиты.

Основная мера защиты от вибрации – виброизоляция источника возмущения. Виброизоляция реализуется путем введения в колебательную систему дополнительной упругой связи (виброизоляторов), которая уменьшает долю вибрации, передающейся от агрегата к основанию, смежным конструкциям или человеку.

В качестве виброизоляторов применяют: стальные пружины или рессоры, прокладки из резины, войлока, а также резинометаллические, пружинно-пластмассовые и пневморезиновые конструкции, использую-

щие упругие свойства материалов и воздуха и так далее. Основные виды виброизоляции представлены на рис. 1.

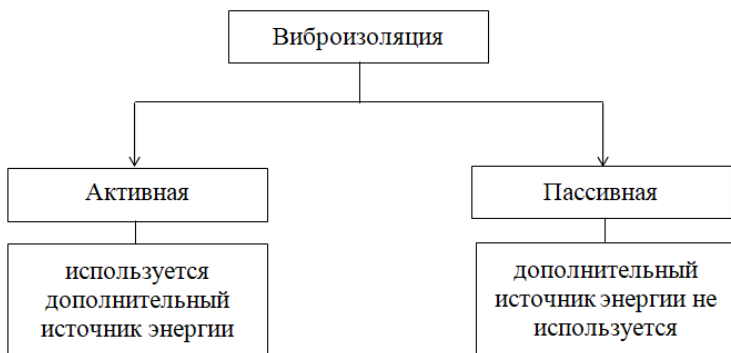


Рис. 1. Виды виброизоляции

Суть работы заключалась в определении эффективности использования виброизоляторов двух типов: пружинного и резинового. Для этого, на экспериментальной установке (рис. 2) были определены значения виброскорости при различных частотах вращения дебалансированного диска (2; 4; 8; 16; 31,5; 63 Гц) в случае использования различных виброизоляторов и при отсутствии защиты.

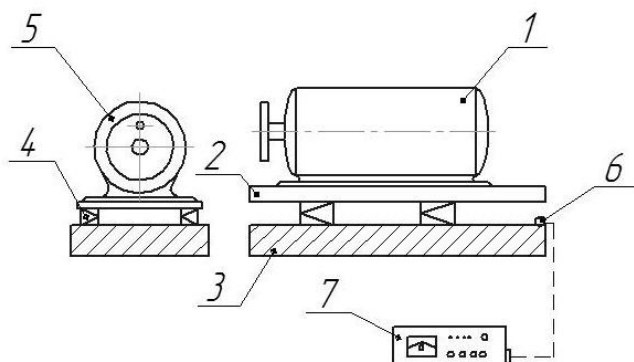


Рис. 2. Установка для исследования вибрации:

1 - двигатель; 2 - платформа; 3 - лабораторный стол; 4 - амортизаторы; 5 - диск с дебалансом; 6 - датчик; 7 - измеритель вибрации ВШВ-003-М2

На основании полученных значений виброскорости была определена эффективность использования виброизоляторов (рис. 3).

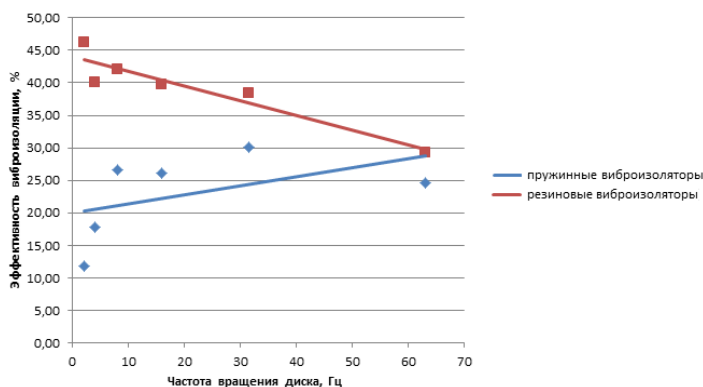


Рис. 3. Графическая зависимость эффективности виброизоляции от частоты вращения дебалансированного диска

В результате работы установлено, что резиновые виброизоляторы наиболее эффективны, по сравнению с пружинными, однако их эффективность уменьшается с ростом частоты вращения диска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность жизнедеятельности: монография / В. М. Макаров [и др.]; под ред. Е.Л. Белороссова, Е.А. Фроловой. Ярославль: ЯГТУ, 2008. 408 с.
2. Суворов Г.А. Вибрация и защита от нее / Г.А. Суворов, Л.В. Прокопенко. М.: Ред. журнала «Охрана труда и социальное страхование», 2001. 230 с.
3. Ефимова Г.А. Практикум по курсу «Безопасность жизнедеятельности» : Практикум / Г.А. Ефимова, Е.Л. Никитина. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2016. 55 с.

УДК 502/504

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ЗАГУЩАЮЩЕГО АГЕНТА

А.И. Шкиря, Е.С. Сергеев, О.П. Филиппова

Научный руководитель – **О.П. Филиппова**, д-р техн. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

Представлены результаты исследования дисперсного состава загущающих агентов, полученных на основе гальванических шламов и измельченных различными способами.

Ключевые слова: дисперсный состав, степень дисперсности, гальванический шлам, антикоррозионный пигмент, микроскопический анализ

CHARACTERISTIC OF SIZE-CONSIST OF BODYING AGENT

A. I. Shkirya, 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 of size-consist of bodying agents, obtained on the basis of galvanic sludge and ground by various methods.

Keywords: size-consist, dispersiveness, galvanic sludge, anticorrosive pigment, a microscopic examination

В настоящее время основным конструкционным материалом являются металлы и их сплавы. С течением времени, под действием внешней среды происходит их разрушение, то есть коррозия, что несет как экологический вред, так и экономический ущерб.

Самым эффективным способ защиты от коррозии является изготовление деталей и конструкций из коррозионностойкого материала, что не всегда возможно. Тогда в качестве инструмента борьбы создаются защитные покрытия. Эти покрытия получают на основе консервацион-

ных смазок, основными компонентами которых являются антикоррозионный пигмент (загущающий агент) и связующее вещество.

Процесс производства консервационных смазок включает в себя дозирование сырья, приготовление и механическое диспергирование загустителя, гомогенизацию, фильтрование и расфасовку. Большое значение для защитных и эстетических свойств защитного покрытия имеет степень однородности (гомогенности) смазки, которая зависит от степени измельчения загустителя. Дисперсным составом порошкового материала определяется их качество, а в некоторых случаях и возможность его применения. Дисперсный состав, зависящий от условий измельчения, влияет как на технические свойства агента (коррозионная стойкость, укрывистость, светостойкость, интенсивность и другие), так и на его распределение в связующем веществе.

Исследуемый загущающий агент получается на основе крупнотоннажных отходов гальванического производства – гальванических шламов [1]. Процесс его получения включает ряд стадий, завершающей из которых является измельчение полученного агента [2].

Эксперимент по определению степени дисперсности загущающего агента был проведен с помощью зондового и биологического микроскопов [3]. Процесс измельчения осуществлялся двумя путями: с использованием диспергатора «Тур 2» и с использованием электромагнитного измельчителя (ЭМИ). Для определения оптимального времени, процесс измельчения осуществлялся до 15 минут (рис. 1).

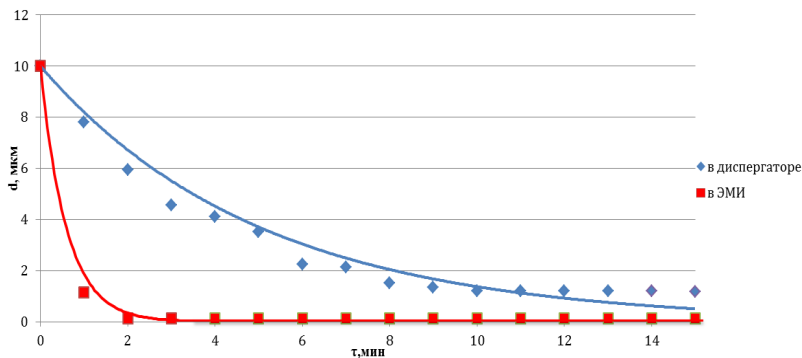


Рис. 1. Изменение среднего диаметра частиц загущающего агента в зависимости от времени обработки в диспергаторе «Тур 2» и в ЭМИ

Из полученных результатов видно, что с увеличением времени обработки агента в диспергаторе и ЭМИ диаметр частиц резко уменьшает-

ся. При его измельчении в диспергаторе «Тур 2», наименьший размер частиц (1-2 мкм) достигается спустя 10-12 мин, а при измельчении в ЭМИ наименьший размер частиц (0,1-0,2 мкм) достигается уже спустя 2-4 мин. Таким образом, несмотря на длительность процесса измельчения, частицы агента после измельчения в диспергаторе имеют большие размеры, чем после измельчения в ЭМИ.

Помимо степени дисперсности был определен дисперсный (гранулометрический) состав агента. Он показывает, какую долю по массе, объему или числу составляют частицы в любом диапазоне их размеров. Исследование проводилось под биологическим микроскопом в 200-кратном увеличении (рис. 2).

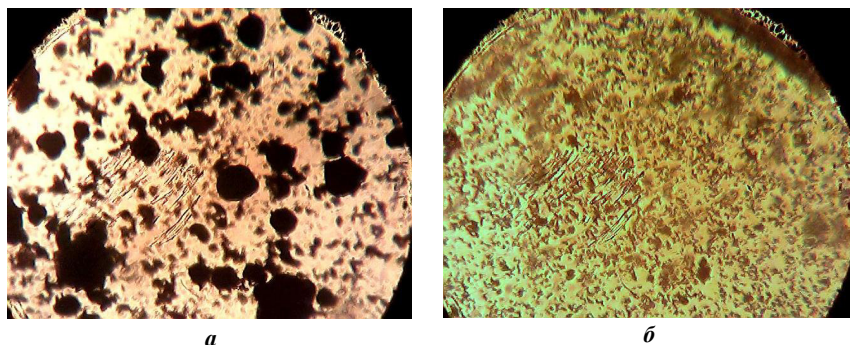


Рис. 2. Микрофотографии измельченного антикоррозионного агента в 200-кратном увеличении:
а – агент измельчен в диспергаторе «Тур 2»; *б* – агент измельчен в ЭМИ

При обработке экспериментальных данных было определено процентное содержание частиц каждой фракции (табл. 1-2). Изображение было разделено на условные поля (квадрат 3 на 3 см; с учетом увеличения его реальный размер 0,045 см²). Площадь каждого прямоугольника представляет собой процентное содержание фракции с определенным интервалом размера частиц.

Таблица 1. Характеристика дисперсного состава агента, измельченного в диспергаторе «Тур 2»

Фракция, мкм	Первое поле	Второе поле	Третье поле	Содержание фракции, %
<1	2	0	3	6,94
1÷ 2	15	13	21	68,06
>2	6	4	8	25,00

Примечание – Общее число частиц составляет 72.

Таблица 2. Характеристика дисперсного состава агента, измельченного в ЭМИ

Фракция, мкм	Первое поле	Второе поле	Третье поле	Содержание фракции, %
<0,1	0	1	1	0,85
1÷2	65	72	86	95,30
>0,2	4	2	3	3,85

Примечание – Общее число частиц составляет 234.

Установлено, что измельчение загушающего агента в ЭМИ позволяет получить гораздо большее количество частиц с меньшими размерами на площади каждого выбранного прямоугольника. Поэтому такой агент лучше распределяется в связующем веществе, что в свою очередь позволит улучшить такие показатели как маслоотделение и коррозионная стойкость получаемого покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сергеев Е.С.* Уменьшение антропогенной нагрузки на окружающую среду путем утилизации токсичных отходов машиностроительных производств, используя метод ферритизации / Е.С. Сергеев, О.П. Филиппова // Семьдесят третья всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 20 апреля 2020 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 2 ч. Ч.1. [Электронный ресурс]. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2020. С. 289-292.
2. Пат. № 2541069 Российская федерация, МПК-2012.01 С09С1/00, С09С 1/02, С09С 1/04, В02С19/18. Способ получения антикоррозионного пигмента. / О. П. Филиппова, Н. С. Яманина, А. В. Головников [и др.]; опубл. 20.12.2012, Бюл. №35.
3. ГОСТ 23402-78. Порошки металлические. Микроскопический метод определения размеров частиц. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200010914>.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ РУД

Ю.А. Синицына, Л.Р. Акчурина, Ю.А. Валиахметова

Научный руководитель – **Л.Р. Акчурина**, канд. техн. наук, доцент

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Приведены результаты исследования микробиологического состава образцов, отобранных из отвалов обогащения медно-колчеданных руд. Произведен сравнительный анализ двух методов выщелачивания металлов из отходов флотации сульфидных руд: с применением выделенных микроорганизмов и кислотно-го метода.

Ключевые слова: отвалы обогащения медно-колчеданных руд, бактериальное выщелачивание, тионовые бактерии

PROMISING LEACHING METHODS NON-FERROUS METALS FROM TAILINGS OF SULFIDE ORE ENRICHMENT

Yu.A. Sinicyna, L.R. Akchurina, Yu.A. Valiahmetova

Scientific Supervisor – **L.R. Akchurina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ufa State Petroleum Technical University

The results of the study of the microbiological composition of samples selected from the dumps of the enrichment of copper-pyrite ores are presented. A comparative analysis of two methods of leaching metals from the waste of sulfide ores was carried out: with the use of isolated microorganisms and the acid method.

Keywords: copper pyrite ore enrichment dumps, bacterial leaching, thionic bacteria

Проблема экологической безопасности при добыче и переработке минерального сырья стоит остро во всем мире, не является исключением и Россия. Для эффективной переработки медно-колчеданных руд на обоганительных фабриках применяются сложные и развернутые схемы обогащения. Однако, несмотря на постоянное совершенствование процессов

флотации, значительная часть ценных компонентов теряется с хвостами обогащения, которые размещаются в поверхностные хвостохранилища намывного типа [1].

В настоящее время на территории большинства предприятий Башкирского Зауралья уже накоплено огромное количество отходов обогащения руд, в частности, на территории Учалинского ГОКа в хвостохранилищах складировано около 50 млн т хвостов обогащения медно-колчеданных руд, в Сибайском филиале Учалинского ГОКа соответственно - 23 млн. т [2].

На сегодняшний день разработано огромное количество технологий переработки горных отвалов, однако большинство из них направлено на захоронение отходов, без доизвлечения из них остаточных ценных компонентов. В то время как, согласно данным ряда авторов, общий объем накопленных отходов, а также содержание в них ценных металлов часто сопоставим с объемом и качеством руд перспективных месторождений, вовлекаемых в настоящее время в разработку [3].

Повторное вовлечение данных видов отходов в качестве источника минерального сырья в переработку, позволило бы значительно увеличить глубину переработки минеральных руд, а также способствовало бы сокращению объемов переработки первичного сырья.

Перспективной альтернативой традиционным физическим и химическим методам обогащения руд, при переработке горных отвалов и отходов обогащения, благодаря более высокой эффективности, а также сокращению потребления энергии и транспортных затрат может стать бактериальное выщелачивание [11-16].

Согласно литературным данным, использование микроорганизмов при извлечении металлов преследует одну из двух целей [1-3]: превращение (или окисление) нерастворимых сульфидов металлов в растворимые сульфаты или создание условий для лучшего взаимодействия химических веществ с поверхностью минерала и растворения необходимого металла. Примером первого процесса является преобразование таких минералов меди, как ковеллин (CuS) или халькозин (Cu_2S), в растворимые сульфаты. Примером второго процесса служит извлечение железа, мышьяка и серы из золотоносного арсенопирита (FeAsS), вследствие чего оставшееся в минерале золото легче выделяется при помощи цианирования. Оба этих процесса являются окислительными.

Стоит отметить, что бактериальное выщелачивание это многостадийный процесс, для эффективного осуществления которого необходимы активные штаммы ацидофильных бактерий. Решением проблем по поиску и выделению эффективных микроорганизмов для переработки отходов горнорудной промышленности является изучение аборигенных микроорганизмов, уже присутствующих в отвалах горных пород [1].

Микробиологические исследования рудных отвалов неоднократно проводили в рамках проектов по скринингу и выделению культур для использования в промышленном биовыщелачивании. Так установлено, что *Thiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans* являются типичными обитателями сульфидных руд и, вместе с этим, могут быть использованы как промышленные микроорганизмы для биовыщелачивания никеля и других металлов [1, 3].

На основании некоторых, главным образом физиологических, особенностей (способность окислять различные соединения серы и другие неорганические субстраты, использовать органические соединения, расти в зависимости от значений pH среды, отношение к кислороду), ряд авторов, выделяет значительное число видов тиобацилл. Из них считаются наиболее твердо установленными следующие: *Thiobacillus thioparus*, *T. thiooxidans*, *T. denitrificans*, *T. thiocyanoxidans*, *T. ncapolitanus*, *T. intermedius*, *T. novellus*, *T. Ferrooxidans* [4].

В то же время, не смотря на огромное количество проведенных микробиологических исследований как самих руд, так отвалов горных пород, проблема поиска наиболее геохимически активных штаммов до сих пор является актуальной.

Разработка технологий выщелачивания ценных компонентов из отвалов и отходов обогащения горнорудной промышленности с использованием активных аборигенных штаммов ацидофильных тионовых бактерий позволит не только повысить качество и глубину переработки руд, но и также будет способствовать сокращению технологических и экономических издержек.

Целью работы являлось исследование микробиологического состава отходов обогащения руд Учалинского горно-обогатительного комбината, а также изучение процесса бактериального выщелачивания меди и цинка из данных отходов.

В качестве исследуемых отходов использовали сульфидные медно-колчеданные руды из отвалов обогащения Учалинского горно-обогатительного комбината. Отбор проб осуществляли в четырех точках хвостохранилища. Образцы отбирали с глубины 25-50 см в чистый, сухой, стеклянный контейнер.

Начальным этапом работы было исследование микробиологического состава образцов отвальных хвостов, а также скрининг и идентификация присутствующих в них микроорганизмов. Определение качественных и количественных микробиологических показателей исследуемых образцов руд осуществляли с использованием стандартных методик. Для определения численности микроорганизмов в исследуемых образцах руд осуществляли посев водных вытяжек из образцов на селективные питательные среды, титр рассчитывали по таблице Мак-Креди. Иденти-

фикацию присутствующих микроорганизмов осуществляли с использованием определителя Берджи [5].

В ходе проведенных микробиологических исследований в отобранных образцах выявлено преимущественное содержание следующих тиобактерий: *Thiobacillus trautweinii*, *Thiobacillus thioparus*, *Thiobacillus thiooxidans*, *Acidithiobacillus ferrooxidans* (*Thiobacillus ferrooxidans*).

Полученные микроорганизмы были протестированы к автотрофному и гетеротрофному росту. При этом для автотрофного роста в качестве источников энергии использовали элементарную серу и двухвалентное железо. Для гетеротрофного роста использовали - глюкозу. Основываясь на полученных данных, отмечена способность микроорганизмов к окислению элементарной серы и ионов железа (Fe^{2+}), что свидетельствует об автотрофном росте микроорганизмов.

В процессе скрининга предпочтение отдавалось тем микроорганизмам, которые способны окислять сульфид ионы и рудные минералы. В результате из всех выделенных микроорганизмов были отобраны два штамма для дальнейшего исследования. Выбранные штаммы микроорганизмов являются облигатными аэробами, хемолитотрофами и ацидофилами, способными окислять в качестве единственного источника энергии двухвалентное железо, элементарную серу, пирит и т.д. Дальнейшие исследования проводили с использованием данных штаммов.

Следующим этапом работы было проведение сравнительного анализа двух методов выщелачивания металлов из отходов флотации сульфидных руд: с применением выделенных микроорганизмов и кислотного метода. В качестве исследуемых металлов были выбраны ионы Zn^{2+} и Cu^{2+} .

Выщелачивание цветных металлов из отходов обогащения руд осуществляли с помощью выделенных микроорганизмов. Для проведения эксперимента к образцам отходов обогащения сульфидных руд массой 100 г добавляли смесь 2 питательных сред - Сильвермана и Лунгрена 9К [5] в соотношении 1:5 и суспензию выделенных микроорганизмов в количестве 1 мл. В качестве контроля выступали аналогичные образцы без внесения микробной суспензии. Эксперимент проводили при температуре в 30 °С в течение 20 дней. Эффективность процесса биовыщелачивания определяли по концентрации металлов, перешедших в раствор.

Для сравнительного анализа двух методов выщелачивания кислотного и биологического, были проведены дополнительные исследования по выщелачиванию цветных металлов с помощью серной кислоты. Для этого в колбы объемом 100 мл вносили отходы флотации сульфидных руд массой 10 гр и серную кислоту с разной концентрацией (1, 3, 30% мас.) объемом 50 мл. Эксперимент проводили при температуре в 30 °С в течение 24 часов. Химический анализ руд и воды проводили методом атомной абсорбции в сертифицированной лаборатории на спектрофотометре марки КВАНТ-2А.

В ходе проведенного исследования по бактериальному выщелачиванию металлов из руд, было установлено, что выход цинка (Zn) в раствор составил около 28% от исходного его содержания, выход меди (Cu) около 21%. В контрольных пробах без участия микроорганизмов выход металлов был незначителен и обуславливался присутствием легкорастворимых соединений.

Для исследования кислотного метода выщелачивания, было дополнительно произведено химическое выщелачивание металлов из отходов обогащения серной кислотой с разной концентрацией (1, 3 и 30 % мас.). В процессе кислотного выщелачивания выход цветных металлов в раствор был значительно ниже, чем в опытах с использованием микроорганизмов. В среднем выход цинка (Zn) составил 10% и меди (Cu) 9%.

Проведенный сравнительный анализ кислотного и биологического методов выщелачивания показал, что при кислотном выщелачивании выход цветных металлов в раствор значительно меньше, чем в опытах с микроорганизмами. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о высокой эффективности применения микроорганизмов в процессах выщелачивания цветных металлов из отходов флотации сульфидных руд.

Таким образом, выщелачивание цветных металлов из отходов обогащения сульфидных медно-колчеданных руд с применением микроорганизмов является одним из перспективных, экологически чистых и экономически выгодных направлений переработки данных видов отходов и рекомендуется к широкому внедрению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Егорова И.В.* Геоэкологические аспекты рекультивации гидроотвалов и хвостохранилищ горных предприятий / И.В. Егорова, В.А. Астапова // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2013. № 3. С. 216-223.
2. *Ангелов В.А.* Изучение особенностей вещественного состава хвостов обогащения медно-колчеданных руд Учалинской обогатительной фабрики / В.А. Ангелов, Е.И. Ангелова, К.А. Аверьянов // Горный информ.-аналит. бюллетень (науч.-техн. журн.). 2012. №5. С.362-368.
3. *Макаров Д.В.* Изменения содержания Ni, Cu, Co, Fe, Mg в хвостах обогащения медно-никелевых руд в процессе их хранения / Д.В. Макаров, В.Н. Макаров, Т.Н. Васильева, Е.Р. Фарвазова // Инженерная экология. 2004. № 1. С.18-28.
4. *Ягафарова Г.Г.* Роль тионовых бактерий в выщелачивании металлов из породных отвалов на "Учалинском горно-обогатительном комбинате" / Г.Г. Ягафарова, А.Н. Кутлиахметов, В.И. Сафарова, С.Ю. Кубарева // Георесурсы. 2012. № 6. С. 84–87.
5. *Нетрусов А.И.* Практикум по микробиологии: учеб. пособие для высш. учеб. заведений. М.: Академия, 2005. 352 с.

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ПРОДУКТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

**В.А. Соболева, К.Е. Дмитриев, А.О. Шамина,
И.С. Коротнева**

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

Ярославский государственный технический университет

В работе проводилась оценка экологической безопасности продуктов разложения полимерных композиций на основе полиизопрена, содержащих в своем составе природные наполнители с помощью метода биоиндикации. Доказано отсутствие токсического воздействия продуктов разложения биодеструктируемого композиционного материала на рост тест-культур.

Ключевые слова: полимерные композиты, биоразложение, природные наполнители, определение токсичности, кресс-салат

**EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL SAFETY
OF THE DECOMPOSITION PRODUCTS
OF A POLYMER COMPOSITE MATERIAL**

Soboleva V.A., K.E. Dmitriev, A.O. Shamina, I.S. Korotneva

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

Yaroslavl State Technical University

The paper assessed the environmental safety of decomposition products of polymer compositions based on polyisoprene containing natural fillers in its composition using the bioindication method. The absence of toxic effects of decomposition products of the biodegradable composite material on the growth of test cultures has been proven.

Keywords: polymer compositions, biodegradation, natural fillers, definition of toxicity, watercress

Синтетические полимеры находят широкое применение в промышленности для изготовления изделий различного назначения, например, медицинского, бытового, химического, фармацевтического, машиностроительного и так далее. Перчатки, упаковочные материалы, одноразовые медицинские приспособления имеют короткий цикл использования, который существенно короче жизненного цикла отслуживших изделий. По информации на 2018 год только в России образовалось более 4 млн т. пластиковых отходов, а на переработку было направлено лишь 12% из указанного количества [1]. Вследствие этого, количество мусорных полигонов забитых твердыми полимерными отходами увеличивается ежегодно. Основным направлением утилизации полимерных отходов является сжигание, что только усугубляет проблему загрязнения окружающей среды, так как в атмосферу при этом выделяются токсичных газы и диоксид углерода, один из главных газов для образования парникового эффекта [2].

В настоящее время активно развивается такое экологическое направление в производстве, как изготовление биоразлагаемых полимерных материалов. В основе такого подхода лежит получение полимеров, которые сохраняли бы свои эксплуатационные характеристики только в течение периода потребления, а затем претерпевали физико-химические и биологические превращения под действием факторов окружающей среды и с легкостью включались в процессы метаболизма природных систем. Разработка, так называемых, биоразлагаемых полимерных материалов может стать шагом на пути решения глобальной экологической проблемы утилизации отходов [3]. Тем не менее важной составляющей таких материалов является экологическая безопасность для почвы, в которых они утилизируются путем компостирования.

В ранее проведенных исследованиях была разработана технология и получены образцы нового полимерного композита [4]. Целью настоящей работы является оценка влияния биоразлагаемых композиций на основе полиизопрена СКИ-3, которые содержат в своем составе природные наполнители (древесную муку, кофейный жмых) при их экспозиции в почве на рост тест-культуры - кресс-салата.

Сущность проводимого исследования заключается в подготовке контрольного образца почвы, и почвенного грунта после компостирования в нем пленочных полимерных биоразлагаемых композитов в течение 3, 6, 9, 12 недель. Семена отобранных тест-растений (кресс-салат) размещались на равном расстоянии друг от друга на фильтровальной бумаге, помещенной поверх увлажненной (80-85%) почвы и выдерживались при температуре $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение (72 ± 1) ч. в соответствии с [5]. Затем у ростков измерялись длины корней.

В основе исследования лежал расчет процентного замедления роста корней кресс-салата, как одного из главных показателей для оценки токсического воздействия продуктов разложения полимерных материалов на рост высших растений, в соответствии с формулой

$$D = \frac{A-B}{A} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где D – процентное замедление прорастания семян и роста корней кресс-салата, %; A – среднее значение всхожести семян, или длины корней, или длины самого длинного корня в контрольной почве; B – среднее значение всхожести семян, или длины корней, или длины самого длинного корня в исследуемой почве.

На рис. 1 представлена зависимость процентного замедления роста корней от времени компостирования полимерного материала в контрольных и исследуемых образцах почвы после экспозиции полимерного композиционного материала на основе СКИ-3 и древесной муки в количестве 15 м.ч. на 100 м.ч. полимера.

Для исследуемых почв, в которых находились пленки без наполнителя и с природным наполнителем в составе, процентные замедления роста корней отрицательны. Это говорит не только об отсутствии токсичных веществ в почвенном грунте, но и о положительном влиянии компостируемых пленок на рост кресс-салата.

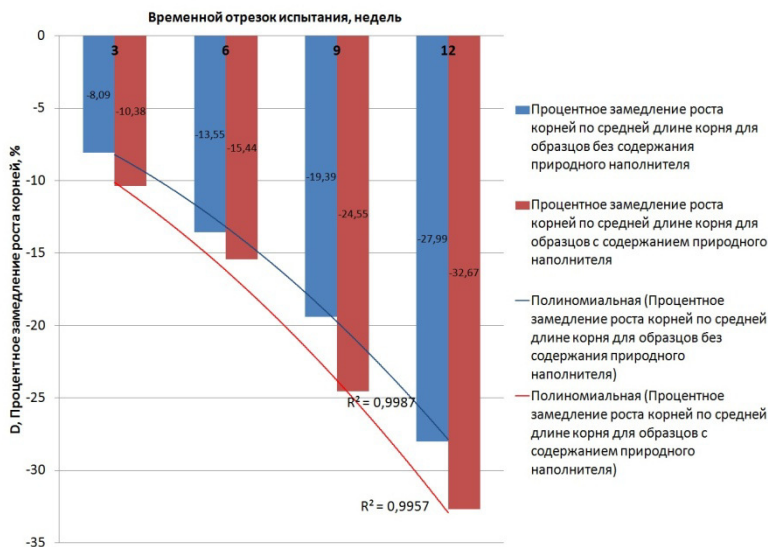


Рис. 1. Зависимость процентного замедления роста корней кресс-салата по средней длине корня от времени компостирования композита в образцах исследуемой почвы

Видимых морфологических изменений на тест-культурах, указывающих на присутствие загрязняющего вещества в почве, не обнаружено (рис. 2).



Рис. 2. Фитоморфология кресс-салата при выращивании в почве после экспозиции полимерного композиционного материала

В результате проведения исследования было доказано отсутствие токсического воздействия продуктов разложения полимерного композита на основе полиизопрена и природных наполнителей на рост кресс-салата, что говорит об относительной экологической безопасности разработанного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка экологической безопасности термопластичных материалов на основе линейных полимеров / В.П. Дмитриенко [и др.] // Экология промышленного производства. М.: Изд-во «Компас», 2018. № 1. С. 52-59.
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. *Роговина С.З.* Биоразлагаемые полимерные композиции на основе синтетических и природных полимеров различных классов // Высокомолекулярные соединения. Сер. С. 2016, Т.58, №1. С. 68-80.
4. *Коротнева И.С.* Биодеструктурируемый полимерный композиционный материал на основе искусственного латекса и био наполнителя / И.С. Коротнева, К.Е. Дмитриев, А.А. Ершов // Chemical bulletin. 2021. Т. 4, № 3. С. 46-55.
5. ГОСТ Р ИСО 18763-2019 Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений.

УДК 628.1.023

ПРОЕКТ УСТАНОВКИ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ г. ЧЕРЕПОВЕЦ

А.Н. Черняева, Е.С. Лебедева, Е.А. Фролова

Научный руководитель – **Е.А. Фролова**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрены вопросы водоподготовки питьевого водоснабжения г. Череповец. Представлен анализ речной воды р. Шексна, изучена действующая установка водоподготовки, внесены некоторые изменения в схему, а именно: введение угольной пульпы для очистки воды от нефтепродуктов и фенола, предложено для обеззараживания использовать УФ-лампы. Приведен расчет материального баланса по процессу в целом и по каждому аппарату. Рассчитаны габариты всех аппаратов по схеме и представлено расположение оборудования на площадке предприятия.

Ключевые слова: питьевая вода, водоподготовка, обеззараживание, технологическая схема

DRINKING WATER INSTALLATION PROJECT CITY CHEREPOVETS

A.N. Chernyaeva, E.S. Lebedeva, E.A. Frolova

Scientific Supervisor - **E.A. Frolova**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The issues of water treatment of drinking water supply in the city of Cherepovets are considered. The analysis of the river water is presented. Sheksna, the operating water treatment plant was studied, some changes were made to the scheme, namely: the introduction of coal pulp to purify water from oil products and phenol, it was proposed to use UV lamps for disinfection. The calculation of the material balance for the process as a whole and for each apparatus is given. The dimensions of all devices are calculated according to the scheme and the location of the equipment at the site of the enterprise is presented.

Keywords: drinking water, water treatment, disinfection, technological scheme

Город Череповец – крупнейший промышленный центр Северо-Запада России с населением 309 тыс. человек, в котором сосредоточены крупные предприятия черной металлургии – ОАО «Северсталь», ОАО «Северсталь-Метиз»; химической промышленности – ОАО «Аммофос», «Череповецкий «Азот». В документе «Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020» отмечается о значительном загрязнении р. Шексна за счет сброса неочищенных или частично очищенных сточных вод предприятиями. В воде присутствуют тяжелые металлы, нефтепродукты, фенолы (табл. 1).

Таблица 1. Свойства воды

Свойства воды	Единицы измерения	ПДК по СанПиН 1.2.3685-21	Значение показателей в воде р. Шексна	Значение показателей в питьевой воде после очистки
Мутность	мг/дм ³	1,5	4,23	<0,58
Цветность	Градусы платиново-кобальтовой шкалы	20	89	9,52
Окисляемость	мг/дм ³ или мг/дм ³ КМnO ₄	5	15,7	3,96
Активная реакция (рН)	-	6-9	8	6,54
Хлориды	мг/дм ³	350	30	4,60
Сульфаты	мг/дм ³	500	<100	57
Железо (суммарное)	мг/дм ³	7	2,05	1,9
Жесткость общая	мг-экв/дм ³	7	2,05	1,9
Нефтепродукты	мг/дм ³	0,1	1,5	<0,02
Фенол	мг/дм ³	0,25	0,50	<0,0005

Целью настоящей работы является анализ системы питьевого водоснабжения МУП «Водоканал» г. Череповца, внесение изменений для улучшения качества питьевой воды. Проектная производительность установки 25000 м³/сут.

Проект питьевого водоснабжения включает в себя:

- 1) составление технологической схемы (рис. 1);
- 2) составление материального баланса по установке;
- 3) выявление образования отходов по схеме;
- 4) расчет основных аппаратов по схеме;
- 5) план расположения оборудования на станции водоподготовки.

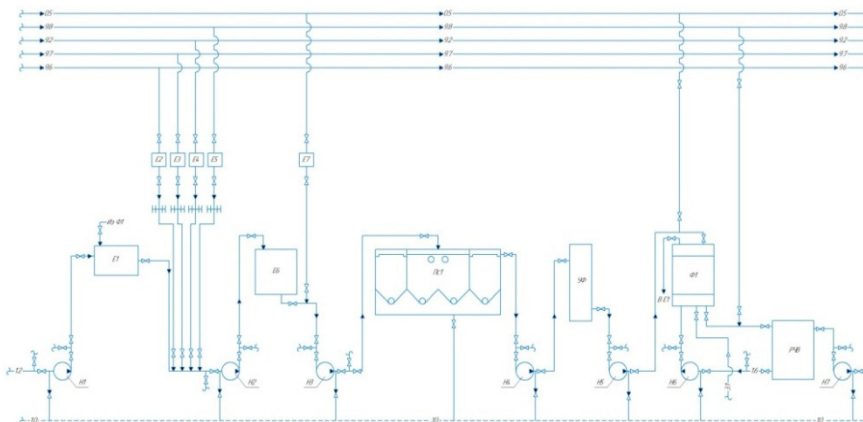


Рис. 1. Технологическая схема процесса

На основе литературных данных и способов, распространенных в России технологическая схема, составлена технологическая схема. По сравнению с действующей добавлено аппарат УФ-обеззараживания и введение в систему угольной пульпы.

При расчете материального баланса учитывали использование реагентов: коагулянт, флокулянт, гипохлорит натрия (обеззараживание), аммиачная вода, угольная пульпа (рис. 2).

Установка питьевого водоснабжения расположена в двух отдельно стоящих зданиях (рис. 3).

В первом здании располагаются емкости с растворами коагулянта (Е2), флокулянта (Е3), аммиака (Е4), гипохлорита натрия (Е5) и угольной пульпы (Е7). Расстояние между ними составляет 0,8 м. Под емкостями находится контактная камера (Е6) на расстоянии 2 м.

Также в здании размещены рециркуляторы-осветлители (Пс1), установка ультрафиолетового обеззараживания (УФ) и фильтровальный зал со скорыми фильтрами (Ф1). Между данными аппаратами есть свободное пространство (около 2 м) для удобства обслуживания персоналом. Второе здание – это насосная станция, в которой находятся насосы (Н1, Н2, Н3, Н4, Н5, Н6, Н7).

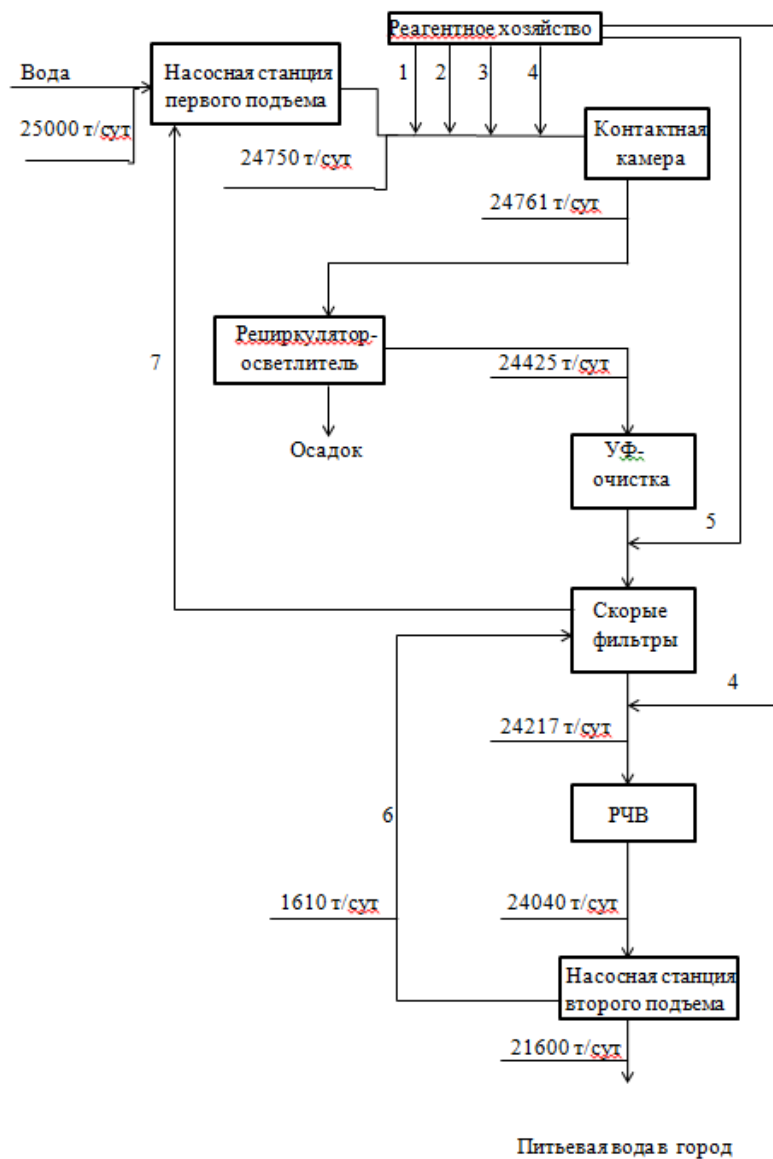


Рис. 2. Материальный баланс процесса

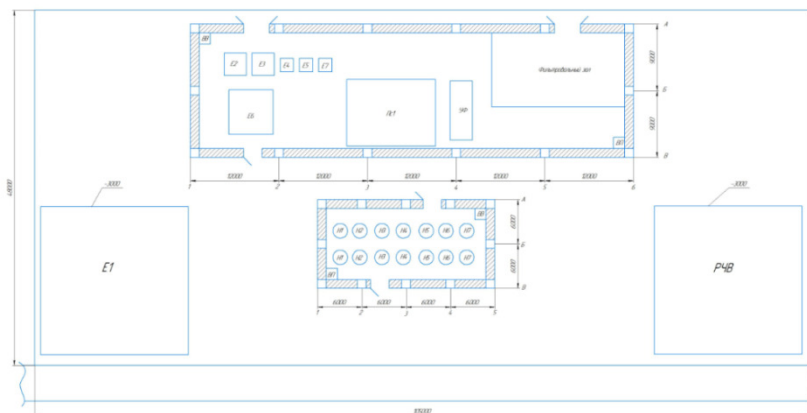


Рис. 3 План расположения оборудования

На территории станции питьевого водоснабжения также расположены водозаборное сооружение (Е1) и резервуары чистой воды (РЧВ), которые заглублены на 3 м. Для проезда транспорта имеется дорога.

Таким образом, представлен проект питьевого водоснабжения МУП «Водоканал» г. Череповца. Обоснован выбор установки питьевого водоснабжения. Для очистки природной воды из р. Шексна до нормативных значений предлагается использовать дополнительно угольную пульпу и УФ-установку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы и способы очистки питьевой воды: выбираем оптимальный вариант URL: <https://aif.ru/boostbook/metody-i-sposoby-ochistki-vody.html> (дата обращения: 01.10.21).
2. Современные методы очистки питьевой воды. URL: <https://diasel.ru/article/sovremennyye-metody-ochistki-pitevoj-vody/> (дата обращения: 04.10.21).
3. Обеззараживание воды современными методами. URL: <http://global-aqua.ru/metody-i-tehnologii/obezrazhivanie-vody.html> (дата обращения: 27.10.21).
4. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020 год. М., 2021. 205 с.

К ВОПРОСУ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.А. Юнина

Вологодский государственный университет

Работа посвящена проблеме вторичной переработке отходов и возможных вариантов повторного использования материалов, в том числе и в сфере строительства для создания звукового комфорта в зданиях.

Ключевые слова: *утилизация промышленных отходов, вторичная переработка, звукоизоляционные материалы с вибродемпфированием.*

TO THE QUESTION OF RECYCLING AND PRODUCTION OF NEW BUILDING MATERIALS

E.A. Junina

Vologda State University

The work is devoted to the problem of waste recycling and possible options for the reuse of materials, including in the construction industry to create sound comfort in buildings.

Keywords: *industrial waste disposal, recycling, soundproof materials with vibration damping*

Мир к концу XX века подошел к экологическому порогу, требующему радикального изменения ценностно-мировоззренческих, экономических, технологических основ социального развития. В связи с этим была принята на Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) концепция устойчивого развития. В целом устойчивое развитие должно характеризоваться экономической эффективностью, биосферосовместимостью, социальной справедливостью. Двухединным индикатором устойчивого развития при этом предстаёт всесторонняя безопасность и высокое качество жизни людей. Ценность такого подхода развития заключается в том, что он рассматривает историю как целостный социоприродный процесс, акцентируя внимание на единстве общества и природы. Речь идет о принципиально новом рассмотрении исторического процесса, когда формирование социальных систем и структур, многообразных видов техники и иных составляющих материальной

культуры рассматриваются с обязательным учетом меры биосферных процессов, экологических границ преобразования природной среды. Так, например, одним из аспектов сложной экологической обстановки в городах являются повышенные уровни шума, связанные с увеличением интенсивности движения автомобильного транспорта, внедрением нового бытового, инженерного и санитарно-технического оборудования, которые оказывают вредное воздействие на человека не только на селитебной территории, но и на рабочем месте, и в жилье. Исследователи в своих работах отмечают, что мероприятия по защите населения от этого вредного фактора направлены на создание комфортной звуковой среды и являются средствами акустической экологии [1]. В условиях городской застройки возникает проблема повышения звукоизоляции ограждающих конструкций не только в новых проектируемых зданиях и сооружениях, но и в уже существующих [1-2].

В своей работе мы хотим обратить внимание на отсутствие производственных мощностей, заинтересованности предпринимателей и отсутствие качественной государственной поддержки по изготовлению и применению строительных материалов из вторсырья, которые могли бы существенным образом изменить экономическое и экологическое положение в стране и мире. В настоящее время вопрос об утилизации промышленных отходов стоит очень остро, так как основная масса отходов утилизируется методом захоронения, что приводит к быстрому разрушению биосферы планеты. Стоит отметить, что проблема качественной утилизации промышленных отходов лежит не только в плоскости оптимизации и безопасности данного процесса, но и в его экономической эффективности и обоснованности. Только 1 января 2019 года вступили в силу изменения и дополнения о раздельном сборе мусора бытовых и промышленных отходов [3].

Однако промышленные предприятия крайне неохотно выполняют данное требование, так как это приводит к увеличению затрат, связанных с сортировкой, переработкой и вывозом промышленных отходов. Более того коэффициент использования промышленных отходов для переработки и использования в качестве вторичного сырья составляет всего лишь от 5 до 10% к тому же в практике промышленной утилизации мусора зачастую занижается класс опасности, что ведет к неправильному хранению и захоронению вывозимых отходов производства.

Из-за проблем, связанных с сортировкой промышленных отходов на местах, их хранением, транспортировкой и местами дальнейшей переработки, механизмов заинтересовать руководителей промышленных предприятий в экологических и ресурсосберегающих технологиях производства продукции из вторичного сырья, практически нет. Хотелось бы

остановиться на сроках разложения некоторых бытовых и промышленных отходов, которые при грамотном подходе и соответствующей поддержке государства могли бы использоваться вторично. Сроки разложения отходов при захоронении на полигонах: пакеты из полиэтилена – 100–200 лет; шины от автомобилей – 140 лет; бутылки из пластика – 200 лет; алюминиевые банки – 500 лет; стеклянные изделия – 1000 лет. По данным «Ростехнологии» более 45% промышленного мусора современных утилизационных полигонов могло бы использоваться вторично, а поступает в повторную переработку не более 10%. Увеличение доли переработки промышленного мусора позволило бы значительно сократить производственные расходы в смежных промышленных отраслях, например в строительной за счет производства современных строительных и отделочных материалов. Так, например, в своих работах исследователи, приходя к выводу, что применение современного легкого строительного материала может использоваться не только для возведения новых конструкций, отделки зданий и сооружений, но также улучшать технологические, экологические и звукоизоляционные характеристики в уже существующих постройках [4]. Поэтому основной интерес представляет использование многослойных конструкций с вибродемпфированием, а также разработка на их основе новых конструктивных решений, с повышенными звукоизоляционными характеристиками, при их меньшей толщине и массе по сравнению с однослойными [5].

До недавнего времени в нашей стране на утилизацию и вторичную обработку принимались только металл, макулатура и стекло. В современных реалиях производства, когда различные полимеры, резина и другие синтетические материалы применяются для изготовления различной продукции и товаров, отходы промышленного производства, пущенные во вторичную переработку, могут существенно изменить уровень потребления и освоения природных ресурсов, а также наилучшим образом повлиять на экологическую обстановку окружающей среды.

С точки зрения финансового подхода перерабатывать отходы становится экономически выгодно, а вновь открытые заводы окупаются уже через 3-4 года, что позволяет получать доход не только предпринимателям, но и государству. При грамотном подходе к сортировке мусора, в том числе промышленных отходов необходимо использовать полезные фракции и материалы повторного цикла с дальнейшей передачей их на изготовление строительных и других комплектующих изделий, а также товаров народного потребления. Такие мероприятия могли бы приносить пользу обществу, сдерживать развитие экологической катастрофы на планете и увеличивать экономическую эффективность государства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шашкова Л.Э.* Повышение звукоизоляции ограждающих конструкций с применением вибродемпфированных элементов / Л.Э. Шашкова, А.А. Кочкин, И.Л. Шубин // Бюллетень строительной техники. 2018. № 6 (1006). С. 26-27.
2. Пат. на полезную модель № 176345 RU, МПК E04C 1/40, E04B1/82. Звукоизоляционный строительный элемент с вибропоглощением / Кочкин А.А., Шашкова Л.Э., Кочкин Н.А., Кирыткова А.В., Матвеева И.В.; заявитель и патентообладатель Вологод. гос. ун-т. – № 2016149061; заявл. 13.12.2016; опубл. 17.01.2018, Бюл. № 2. – 6 с.
3. Российская Федерация. Законы. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон N 89-ФЗ от 24.06.1998.
4. *Кирыткова А.В.* Экспериментальные исследования звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов / А.В. Кирыткова, А.А. Кочкин, И.Л. Шубин, Л.Э. Шашкова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2020. № 4 (32). С. 73-79.
5. *Кочкин А.А.* Влияние измененной изгибной жесткости на звукоизоляцию вибродемпфированного элемента / А.А. Кочкин, Л.Э. Шашкова, И.Л. Шубин // Технология текстильной промышленности. 2017. Iss. 2(368). P. 286-290.

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Ф. Юрьева, Д.В. Иванов, С.В. Голочалов, М.А Латкин

Научный руководитель – **М.А. Латкин**, д-р техн. наук,
профессор

Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова

Работа посвящена проблеме обеспечения пожарной безопасности в зданиях жилого и общественного типа, так как данная проблема сегодня требует серьезного внимания, ведь это один из важнейших факторов, влияющих на сохранение здоровья и жизни человека. Огнестойкость конструкций повышается путем применения различных технологических мероприятий, зачастую – использование антипиренов.

***Ключевые слова:** строительные материалы, пожароопасность, антипирены, слабогорючие строительные материалы*

FIRE HAZARD OF BUILDING MATERIALS

V.F. Yuryeva, D.V. Ivanov, S.V. Golochalov, M.A Latkin

Scientific Supervisor – **M.A. Latkin**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University

The work is devoted to the problem of ensuring fire safety in residential and public buildings today requires serious attention, because this is one of the most important factors affecting the preservation of human health and life. The fire resistance of structures is increased through the use of various technological measures, often the use of flame retardants.

***Keywords:** building materials, fire hazard, flame retardants, low-combustible building materials.*

При строительстве современных зданий, таких как торгово-развлекательные центры, крупные деловые комплексы и дома высокой этажности обязательно соблюдается одна из ключевых задач – обеспе-

чение пожарной безопасности. Здания подобного типа имеют специфически большую протяженность путей эвакуации, а это ведёт к повышению уровня пожарной безопасности, невозможного без усовершенствования применяемых строительных материалов и конструкций [1].

Один из наиболее используемых теплоизоляционных материалов – это пенополистирол, относящийся к классу Г4. При теплоизоляции фасадов зданий часто используют рассечки из минеральной ваты, так как это негорючий материал. Пенополистирол не используется только в фасадных системах вентилируемого типа из-за того, что это может привести к быстрому распространению пламени по вентиляционным пустотам и полостям здания.



Рис. 1. Применение пенополистирола в строительстве

При применении кровельных покрытий пенополистирол по правилам должны укладывать на негорючее основание из каменной ваты.

Строительным материалом, повышающим пожарную опасность, является пенополиуретан, при производстве которого используются антипирены. Благодаря этому снижается пожароопасность, но увеличивается токсичность продуктов сгорания. В общем использование пенополиуретана в строительстве с высокими требованиями к пожароопасности является сильно ограниченным. В случае необходимости пенополиуретан заменяем двухкомпонентным материалом, обладающим низкой горючестью и воспламеняемостью – пенополиизоциануратом.

К группе слабогорючих строительных материалов относятся резольные пенопласты, которые при горении начинают обугливаться, при

этом сохраняя свою форму целой. Резольные пенопласты обладают низкой дымообразующей способностью, но в процессе горения начинают выделять опасные для жизни людей вещества, такие как фенол, аммиак, угарный газ.

Строительным материалом, обладающим теплотехническими свойствами с температурой плавления более 500°C является стекловата. Она относится к группе негорючих строительных материалов с плотностью до 40 кг/м^3 [2].

Наиболее стойким и надежным строительным материалом в сфере пожарной безопасности является каменная вата, которую производят из каменной породы базальтовой группы. Каменная вата является очень стойким к высоким температурам материалом, она выдерживает до 1000°C , а также способна препятствовать распространению пламени.



Рис. 2. Каменная вата

Стоит еще раз отметить высокую необходимость на этапе проектирования и в ходе строительства зданий в проведении противопожарных мероприятий, так как одной из самых важных задач является обеспечение пожарной безопасности. В ходе противопожарных мероприятий проводится оценка пожарной опасности, а также правильно подбираются строительные материалы на основе действующих стандартов и норм. Использование современных строительных материалов, которые соответствуют требованиям пожарной безопасности позволяет полностью обезопасить здания, находящиеся в эксплуатации, от рисков пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Суханов А.М.* Использование минеральных добавок при производстве керамзита / *А.М. Суханов, Е.А. Баранов* // Научное обеспечение реализации государственных программ АПК и сельских территорий: материалы междунар. науч.-практ. конф. Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2017. С. 495-498.
2. *Суханов А.М.* Исследование возможности применения местных строительных материалов для получения сухих строительных смесей / *А.М. Суханов, П.И. Грехов* // Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение: сб. ст. IV Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию Инженерно-технического института Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова / под ред. доц. А.Е. Саввиной. Якутск: Изд-во Междунар. центр науч.-исслед. проектов, 2016. С. 255-260.

СЕКЦИЯ «ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ»

УДК 524.3-1/-8

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ В ЗВЁЗДАХ РАЗНЫХ ТИПОВ

В.С. Голдовский, Н.И. Перов

Научный руководитель – **Н.И. Перов**, канд. физ.-мат. наук, доцент

Государственное автономное учреждение культуры Ярославской области
"Культурно-просветительский центр им. В.В. Терешковой"

Изучение модели различных типов звезд, расчет и построение графиков, наглядно показывающих данное распределение.

Ключевые слова: нормальные звезды, белые карлики, нейтронные звезды

A MODEL OF DENSITY DISTRIBUTION IN DIFFERENT TYPES OF STARS

V.S. Goldovsky, N.I. Perov

Scientific Supervisor - **N.I. Perov**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

State Autonomous Cultural Institution of the Yaroslavl Region
"V.V. Tereshkova Cultural and Educational Center"

Studying models of various types of stars, calculating and plotting graphs that clearly show this distribution.

Keywords: normal stars, white dwarfs, neutron stars

При рассмотрении вопросов, касающихся строения и эволюции звезд, главную роль играют их уравнения состояния. Для политропных моделей звезд [2] уравнение состояния записываются в виде

$$p = K\rho^\gamma, \quad (1)$$

где p и ρ – давление и плотность в точке на расстоянии r от центра сферически симметричной звезды, а K и γ – некоторые постоянные. Но для

реальных звезд, надо учитывать её неоднородность разбиением звезды на ряд сферических слоев, для которых это соотношение будет выполняться.

Но если $\gamma \neq const$, то уравнение (1) представим в виде

$$(p / p_c) = (\rho / \rho_c)^{1+1/f(r/R)}. \quad (2)$$

Здесь P_c – давление газа в центре звезды, R_c – радиус звезды, f – некоторая функция, математические свойства которой определяются физическими свойствами в недрах звезды.

Используя уравнение равновесия (3) и уравнение (1)

$$dp / dr = -\rho Gm(r) / r^2. \quad (3)$$

Получим обобщенное уравнение Лэна-Эмдена для функции $y = \rho(r) / \rho_c$ и $x = r / R$

$$\frac{d}{dx} \left\{ x^2 y^{1/f} \left[-\frac{1}{f^2} \cdot \frac{df}{dx} \ln y + \left(1 + \frac{1}{f}\right) \frac{dy}{dx} \cdot \frac{1}{y} \right] \right\} + 4\pi R^2 G \frac{\rho_c^2}{p_c} x^2 y = 0. \quad (4)$$

Нормальные звезды. Солнце

Наше Солнце является желтым карликом и состоит преимущественно из водорода и гелия. Текущий возраст Солнца на главной последовательности равен примерно 4,5 миллиарда лет, то есть оно находится, примерно, в середине своего жизненного цикла.

Рассмотрим случай $f = ax^n + b$, тогда уравнение (4) примет вид

$$\frac{d}{dx} \left\{ x^2 y^{1/(ax^n+b)} \left[-\frac{a \ln y}{(ax^n+b)^2} + \left(1 + \frac{1}{ax^n+b}\right) \frac{dy}{dx} \cdot \frac{1}{y} \right] \right\} + Cx^2 y = 0, \quad (5)$$

где $C = 4\pi R^2 G \rho_c^2 / p_c$.

Будем производить численные эксперименты с различными значениями коэффициентов n , a и b . Допустим $n = 1$, $a = 0$ и $b = 10000$, учитывая массу Солнца (M_c), радиус Солнца (R_c) и, подставляя в уравнение (4), получим (рис. 1).

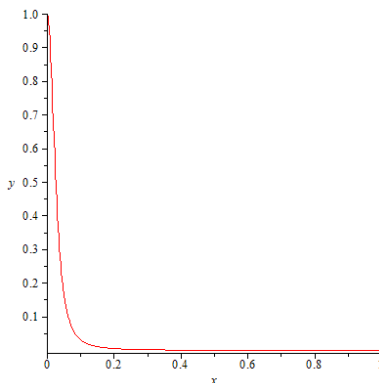


Рис. 1. Солнце:

$n = 1, a = 0, b = 10000, \rho = \rho(r), y = y(x)$

Теперь подберем коэффициент n так, чтобы масса модели максимально соответствовала массе реальной звезды. И получаем, что для этого коэффициент $n = 1/6$. Тогда получаем следующие графики зависимости плотности ρ звезды, от расстояния от центра (рис. 2 и 3).

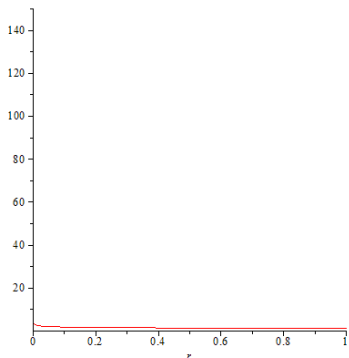


Рис. 2. Плотность Солнца ρ (в г/см^3), в зависимости от расстояния от центра Солнца в единицах радиуса Солнца:
 $n = 1/6$

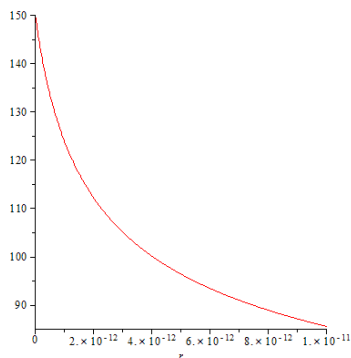
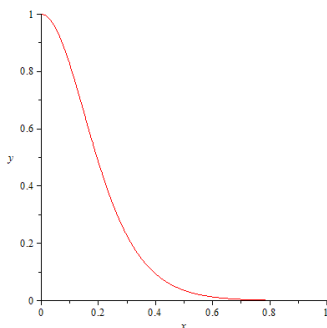


Рис. 3. Плотность Солнца ρ (в г/см^3) в зависимости от расстояния от Центра Солнца (в радиусах Солнца):
 $N = 1/6$

Увеличив масштаб, можно увидеть, что плотность ρ в самом центре звезды большая (см. рис. 3).

Исследуем распределение плотности ρ внутри белых карликов. Для них подберем коэффициенты n , a и b в формулах (4) и (5) так, чтобы масса белого карлика не превышала предел Чандрасекхара ($1,4 M_{\odot}$) [1]. И получим $n = 60$, $a = -3/2$ и $b = 3$, тогда график зависимости плотности от расстояния от центра до периферии примет вид, как на рис. 4.

Рис. 4. Белый карлик:
 $n = 60$, $a = -3/2$, $b = 3$, $\rho = \rho(r)$



Рассмотрим модель поведения плотности ρ внутри нейтронной звезды, а также её зависимость от расстояния от центра до периферии. Возьмем коэффициенты n , a и b , с учетом работы [2] $n = 1$, $a = -3/2$ и $b = 3$, тогда получим график, представленный на рис. 5.

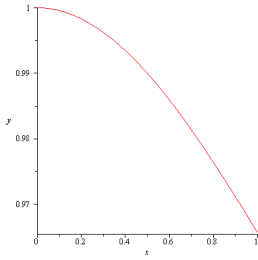


Рис. 5. Нейтронная звезда:
 $n = 1, a = -3/2, b = 3, \dots, \rho = \rho(r)$

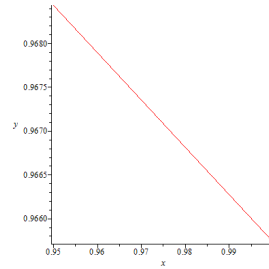


Рис. 6. Нейтронная звезда:
 $n = 1, a = -3/2, b = 3. \dots \rho = \rho(r)$

Если увеличить масштаб, рассматривая периферийные области звезды, то видно, что зависимость $\rho(r)$ почти линейная (рис. 6).

Исследуя график функции $\rho(r)$, можно заметить, что не происходит резких изменений плотности ρ по всему объему звезды, из этого можно сделать вывод, что нейтронная звезда является почти однородным объектом. Но это не совсем так, (во внешнюю оболочку нейтронных звезд входят ядра атомов железа), поэтому – из дополнительных условий – надо подобрать коэффициенты таким образом, чтобы, например, масса нейтронной звезды соответствовала значению $3M_{\odot}$. Для этого проведем численные эксперименты, чтобы значение параметров n , a и b соответствовали этому значению, и получим $n = 5, a = -3/2$ и $b = 3$ (рис. 7).

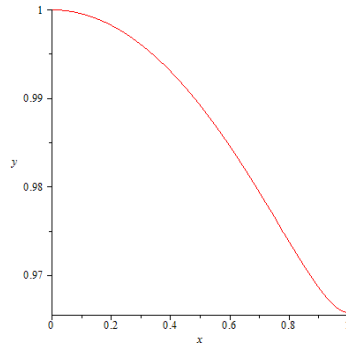


Рис. 7. Нейтронная звезда:
 $n = 5, a = -3/2, b = 3, \rho = \rho(r)$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chandrasekhar S. The Maximum Mass of Ideal White Dwarfs // *Astrophysical Journal*. 1931. Vol. 74, July. P. 81–82.
2. Попов С. Суперобъекты: Звезды размером с город. М.: Альпина нон-фикшн, 2016. 238 с. (Серия «Библиотека ПостНауки»).

**ОПТИМИЗАЦИОННОЕ ОСНОВАНИЕ
ТРАНЗИТНЫХ МОЩНОСТЕЙ
В ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧЕ ЭНЕРГЕТИКИ**

О.А. Дыбова, Д.П. Андрианов

Научный руководитель – **Д.П. Андрианов**, канд. техн. наук,
доцент

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых

Рассматривается кольцевая схема электроснабжения с точки зрения оптимизации величин передаваемых мощностей. Показано влияние стоимостных коэффициентов целевой функции на оптимальную конфигурацию схемы электроснабжения.

***Ключевые слова:** схема электроснабжения, транзитная мощность, оптимизация*

**OPTIMIZATION BASIS OF TRANSIT CAPACITIES
IN THE TRANSPORT PROBLEM OF ENERGY**

O.A. Dybova, D.P. Andrianov

Scientific Supervisor - **D.P. Andrianov**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

A.G. and N.G. Stoletovs Vladimir State University

The ring scheme of power supply is considered from the point of view of optimizing the values of transmitted powers. The influence of the cost coefficients of the objective function on the optimal configuration of the power supply scheme is shown.

***Keywords:** power supply scheme, transit power, optimization*

Одной из важнейших актуальных задач современной электроэнергетики является обеспечение поставки потребителям необходимых объемов электрической энергии (мощности) по минимально возможным ценам.

Классическая постановка транспортной задачи в электроэнергетике [1] подразумевает прямые поставки электрической мощности от источников к потребителям, при этом возможен прием мощностей одним приемником от нескольких источников и передача от одного источника к

нескольким потребителям. Стоимость передачи мощности по каналам сети может существенно отличаться.

Оптимальный вариант находится при использовании оптимизационных поисковых алгоритмов, при этом целевая функция рассматривается как сумма потребляемых мощностей с учетом коэффициентов, учитывающих стоимость передачи мощности по каналам сети.

Интерес представляет рассмотрение схемы электроснабжения с кольцевой структурой связей между потребителями и возможностью появления транзитных мощностей (рис. 1). Под транзитной мощностью понимается передача электрической мощности от одного объекта энергосистемы к другому по электрическим сетям третьего объекта.

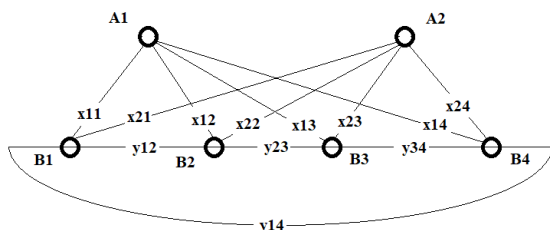


Рис. 1. Структурная схема системы электроснабжения

На рис. 1 обозначены:

A1, A2 – источники мощности (электростанции);

B1, ..., B4 – потребители;

X11, ..., x24 – линии электропередач между источниками и потребителями;

Y12, ..., y14 – линии электропередач между потребителями.

Численные эксперименты на рассматриваемой модели показали, что кольцевая структура связей при определенных величинах стоимостных коэффициентов может привести к потере устойчивости вычислительного оптимизационного алгоритма. В узлах, связанных с передачей транзитной мощности, в общем случае, возможно изменение направления передачи мощности, что приводит к вычислительным коллизиям. Для рассматриваемой схемы было принято дополнительное ограничение на направление передачи мощности для одного потребителя (y14).

На рис. 2 приведены результаты оптимизационных расчетов для варьирования величин стоимостных коэффициентов связей между потребителями, обеспечивающих кольцевую схему системы электроснабжения.

На схемах в квадратных рамках приведены:

- в числителе – величина передаваемой мощности;
- в знаменателе – величина стоимостного коэффициента.

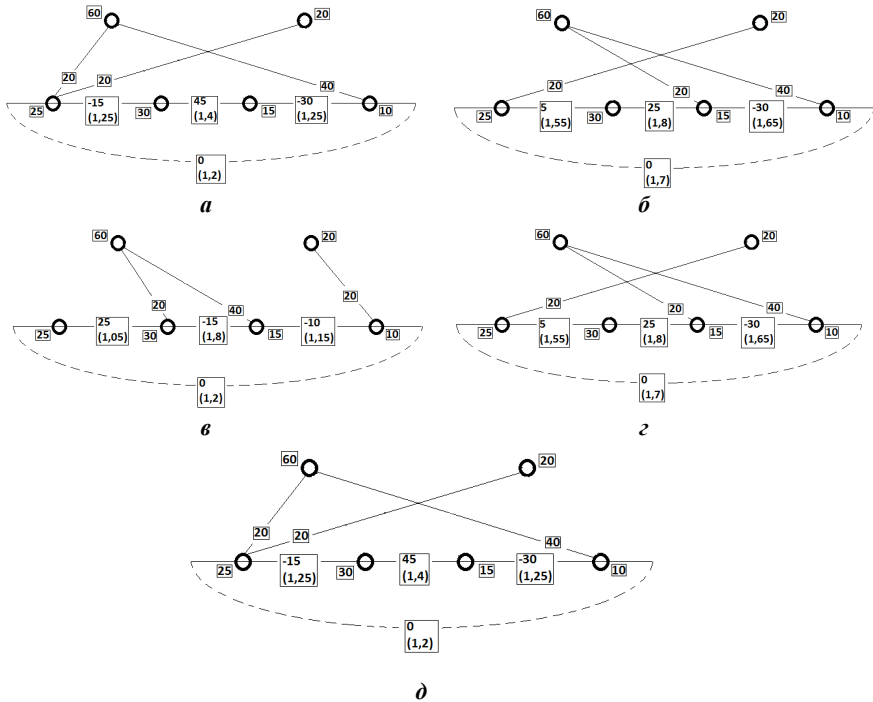


Рис. 2. Варианты расчетов

Результаты моделирования показали, что при изменении стоимости передачи мощности между потребителями кольцевой структуры (неосновным для схемы электроснабжения) происходит существенное изменение структуры сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костин В.Н. Оптимизационные задачи электроэнергетики. СПб.: СЗТУ, 2003.

**РАЗРАБОТКА НОВОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
МАТЕРИАЛА ИЗ СТРУКТУРИРОВАННОГО НА МИКРОН-
НОМ УРОВНЕ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ХИРАЛЬНО-
ГО НЕМАТИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА**

А.О. Пивень, П.И. Зырянова, Т. Орлова

Научный руководитель – **Т. Орлова**, канд. физ.-мат. наук,
ведущий научный сотрудник

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург

В работе представлен метод создания различных статических и динамических локализованных структур в тонких пленках светочувствительных хиральных нематических жидких кристаллов методом оптомолекулярной генерации.

Ключевые слова: хиральность, светочувствительные, статические и динамические структуры, оптика, фотоника, мягкая анизотропная материя, структурирование света

**A NOVEL FUNCTIONAL MATERIAL MADE
OF A MICRON-STRUCTURED LIGHT-SENSITIVE CHIRAL
NEMATIC LIQUID CRYSTAL**

A.O. Piven, P.I. Zyryanova, T. Orlova

Scientific Supervisor – **T. Orlova**, Candidate of of Physico-
Mathematical Sciences, Leading Researcher

National Research ITMO University, Saint-Petersburg

The paper presents a method for creating various static and dynamic localized structures in thin films of light-sensitive chiral nematic liquid crystals by optomolecular generation.

Keywords: chirality, photo-responsive, static and dynamic structures, optics, photonics, soft anisotropic material, light structuring

На сегодняшний день широко известно, что в жидкокристаллических материалах, относящихся к классу мягкой материи, можно наблюдать различные структурные дефекты частично упорядоченного молекулярного поля, оптические свойства которых могут найти самое разнообразное применение в оптике и фотонике. Такие структурные дефекты невозможно получить непрерывным преобразованием ориентационного

поля жидкого кристалла, что открывает широкие перспективы использования подобных структурных дефектов для записи и хранения информации на молекулярном уровне [1].

В предыдущих исследованиях тонких пленок фрустрированных хиральных нематических жидких кристаллов было продемонстрировано создание различных локализованных статических дефектных структур путем оптически индуцированной переориентации жидкокристаллических молекул с помощью как структурированных, так и Гауссовых световых пучков [2]. Новый метод, основанный на светоиндуцированном управлении шагом холестерической спирали, позволяет создавать различные как статичные, так и уникальные локализованные динамические структуры при помощи ультрафиолетового Гауссова пучка мощностью всего в десятки нановатт [3]. Целью данного исследования является создание широкого спектра различных локализованных сложных структур в тонких пленках светочувствительного хирального нематического жидкого кристалла путем оптически индуцированных фотохимических превращений молекул хиральной легирующей добавки.

Направленное сфокусированное освещение области фрустрированного хирального жидкого кристалла Гауссовым пучком с колоколообразным профилем интенсивности позволяет локально уменьшать длину холестерической спирали нематического жидкого кристалла и формировать локализованные дефектные статичные и динамические структуры. Полученные локализованные распределенные в пространстве двулучепреломляющие статические и динамические структуры могут быть использованы, например, для создания многофункционального материала с произвольным набором микроскопических линз или дефлекторов; в качестве генераторов оптического вихря для структурирования проходящих световых пучков; для создания перспективного многофункционального материала для мягкой роботики [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Two-dimensional skyrmions and other solitonic structures in confinement-frustrated chiral nematics / P.J. Ackerman, R.P. Trivedi, B.Senyuk, J. Lagemaat, I.I. Smalyukh // *Physical Review E*. 2014. №90.
2. *Smalyukh I.I.* Three-dimensional structure and multistable optical switching of triple-twisted particle-like excitations in anisotropic fluids / I.I. Smalyukh, Y. Lansac, N.A. Clark, R.P. Trivedi // *Nature Materials*. 2010. № 9. С. 139-145.
3. *Loussert C.* Multiple chiral topological states in liquid crystals from unstructured light beams / C. Loussert, E. Brasselet // *Applies Physics Letters*. 2014. № 104.
4. Revolving supramolecular chiral structures powered by light in nanomotor-doped liquid crystals / T. Orlova, F. Lancia, C. Lossert, S. Lamsaard, N. Katsonis, E. Brasselet // *Nature Nanotechnology*. 2018. № 13. С. 304-308.
5. Control of Light by Topological Solitons in Soft Chiral Birefringent Media / A.J. Hess, G. Poy, J.B. Tai, S. Zumer, I.I. Smalyukh // *Physical Review X*. 2020. № 10.

**АНАЛИЗ СВОЙСТВ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ НАЗЕМНОЙ СТАНЦИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ
КА/Q-ДИАПАЗОНА, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИЮ
MIMO**

А.А. Удальцова, Т.К. Артемова

Научный руководитель – **Т.К. Артемова**, канд. физ.-мат. наук,
доцент

Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова

Анализируются свойства антенной системы для наземной станции спутниковой связи, реализующей технологию системы множественного входа и множественного выхода. Описываются варианты расположения антенной системы на земле и на спутнике.

Ключевые слова: антенная система, спутниковая связь, MIMO

**ANALYSIS OF ANTENNA SYSTEM PROPERTIES
FOR KA/Q-BAND SATELLITE GROUND STATION
IMPLEMENTING MIMO TECHNOLOGY**

A.A. Udaltsova

Scientific Supervisor – **T.K. Artemova**, Candidate of Physico-
Mathematical Sciences, Associate Professor

P. G. Demidov Yaroslavl State University

The properties of the antenna system for a satellite communication ground station implementing the technology of multiple input and multiple output systems are analysed. The options for positioning the antenna system on the ground and on the satellite are described.

Keywords: antenna system, satellite communication, MIMO

Спутники, рассматриваемые в данном исследовании, находятся на геостационарной орбите и обычно используют не регенеративные транспондерные архитектуры. В среде прямой видимости для использования пространственных степеней усиления свободы требуется разделение антенн порядка сотен километров либо на спутнике, либо на земле.

MU-MIMO может увеличить общую пропускную способность канала за счет пространственного мультиплексирования и выступать в качестве метода предотвращения помех между пользователями. Он обеспечивает метод, при котором несколько пользователей могут одновременно использовать одни и те же частотные и временные ресурсы.

Цель моего исследования заключалась в том, чтобы проанализировать, как будет зависеть пропускная способность канала от расположения антенн на земле и на спутнике. Одна антенная установка на земле неизменна и размещена по адресу город Ярославль, улица Советская, дом 14.

В сценарии 2×2 оптимальная пропускная способность канала достигается, когда минимальное расстояние между двумя пользователями составляет приблизительно 190 км при $f = 30$ ГГц. Для других сценариев MU-MIMO 3×3 , 4×4 , 5×5 и 6×6 оптимальная пропускная способность канала достигается, когда минимальное расстояние между пользователями составляет 127, 95, 76 и 64 км соответственно.

Оценить преимущество системы с множественными входами и множественными выходами относительно системы с одним входом и одним выходом можно по максимальной спектральной эффективности канала. В качестве эталонного значения сигнал/шум на входе приемника я взяла значения равные 5, 10 и 33 дБ. Значения максимальной спектральной эффективности канала равны 7, 9 и 12 бит/с/Гц. Максимальная пропускная способность канала системы с одним входом и одним выходом в тех же условиях будет равна 5, 7 и 10 бит/с/Гц. Система с множественными входами и множественными выходами дает преимущество в пропускной способности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Schwarz R.* MIMO applications for Multibeam satellites / R. Schwarz, T. Delamotte, A. Knopp // Proceedings of the IEEE. 2019. P. 10–13.
2. *Ramamurthy B.* MIMO for Satellite Communication Systems: Ph.D Thesis, University of South Australia. 2018. P. 76-90.
3. *Delamotte T.* Smart Diversity Through MIMO Satellite Q/V-Band Feeder Links / T. Delamotte, A. Knopp // Proceedings of the IEEE. 2019. P. 285–300.

ПОИСК НОВЫХ МЕЖНУКЛЕОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МЕТОДОМ НЕЙТРОННОГО РАССЕЯНИЯ

Д.Д. Шапиро^{1,2}, В.В. Воронин^{1,2}

Научный руководитель – **В.В. Воронин**, д-р физ.-мат. наук,
профессор

¹Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт” –
Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
²Санкт-Петербургский государственный университет

Рассматривается возможность использования рассеяния нейтронов на порошке кремния для получения ограничений на константу связи нового межнуклонного спин-независимого взаимодействия. Ограничения, полученные из данных дифрактометров SPODI (FRMII, Германия) и DIB (ILL, Франция), находятся на уровне лучших существующих значений в диапазоне радиусов взаимодействия $\lambda = 10^{-13} \div 10^{-8} \text{ м}$.

Ключевые слова: новые взаимодействия, рассеяние нейтронов, порошковая дифракция.

SEARCH FOR NEW INTERNUCLEONINTERACTIONS USING NEUTRON SCATTERING

D.D. Shapiro^{1,2}, V.V. Voronin^{1,2}

Scientific Supervisor – **V.V. Voronin**, Doctor of Physico-Mathematical
Sciences, Professor

¹National research center “Kurchatov institute” – Petersburg nuclear physics
institute named after B.P. Konstantinov,
²Saint-Petersburg State University

A possibility of usage of neutron scattering on silicon powder is considered for obtaining constraints on a coupling constant of a new internucleon spin-independent interaction. The constraints obtained from diffractometers SPODI (FRM II, Germany) and DIB (ILL, France) are compatible with best current limits for interaction radius range of $\lambda = 10^{-13} \div 10^{-8} \text{ m}$.

Keywords: new interactions, neutron scattering, powder diffraction

По современным представлениям в природе существует 4 вида фундаментальных взаимодействий, однако в литературе широко обсуждается возможность существования новых сил в рамках расширения Стандартной Модели [1, 2]. В данной работе рассматривается возможность использования нейтронного рассеяния для получения ограничений на константу связи нового межнуклонного спин-независимого взаимодействия.

Известно, что интегральная интенсивность I_q брэгговского пика порошковой дифрактограммы в кинематическом приближении пропорциональна квадрату структурного фактора F_q , который в свою очередь пропорционален амплитуде рассеяния a :

$$I_q \sim |F_q|^2 \equiv \left| a \sum_j e^{i\mathbf{q}\mathbf{r}_j} \right|^2, \# \quad (1)$$

где \mathbf{r}_j – вектор, обозначающий положение j -го атома в ячейке; \mathbf{q} – вектор обратной решетки (переданный импульс). Квадрат амплитуды рассеяния можно записать как

$$a^2 = (a_n + a_{new})^2 \approx (a_n^2 + 2a_n a_{new})^2, \# \quad (2)$$

где a_n – амплитуда рассеяния нейтрона на ядре; a_{new} – амплитуда рассеяния за счёт нового взаимодействия. Отметим, что a_n является константой и не зависит от переданного импульса q .

Если бозон, осуществляющий новое взаимодействие, является массивным, то амплитуду рассеяния a_{new} в борновском приближении можно записать в виде

$$a_{new} = -A \frac{mc}{2\pi\hbar} \frac{g^2 \lambda^2}{1 + \lambda^2 q^2}, \# \quad (3)$$

где A – атомная масса элемента, на котором происходит рассеяние; m – масса нейтрона; g , λ – константа связи и радиус нового взаимодействия соответственно.

Отметим, что a_{new} зависит от q , в отличие от a_n . С другой стороны, a_{new} можно выразить через интегральную интенсивность I_q :

$$a_{new} \sim \frac{a_n \Delta I}{2 I}, \# \quad (4)$$

где $\Delta I \equiv I_q - I$ – отклонение интегральной интенсивности I_q брэгговского пика, соответствующего переданному импульсу q , от среднего значе-

ния интегральной интенсивности всех пиков дифрактограммы I . Таким образом, существование нового взаимодействия проявится в характерной зависимости амплитуды рассеяния от переданного импульса.

Для получения ограничений на константу связи g нами были проанализированы калибровочные данные порошковых дифрактометров SPODI (FRMI, Германия) и D1B (ILL, Франция). Длины волн нейтронов составляли 1,5 и 1,28 Å соответственно. В обоих случаях образцом являлся порошок кремния, температура съёмки 300 К. Полученные ограничения представлены на рис. 1. В диапазоне радиусов взаимодействия $\lambda = 10^{-13} \div 10^{-8}$ м они находятся на уровне лучших существующих значений.

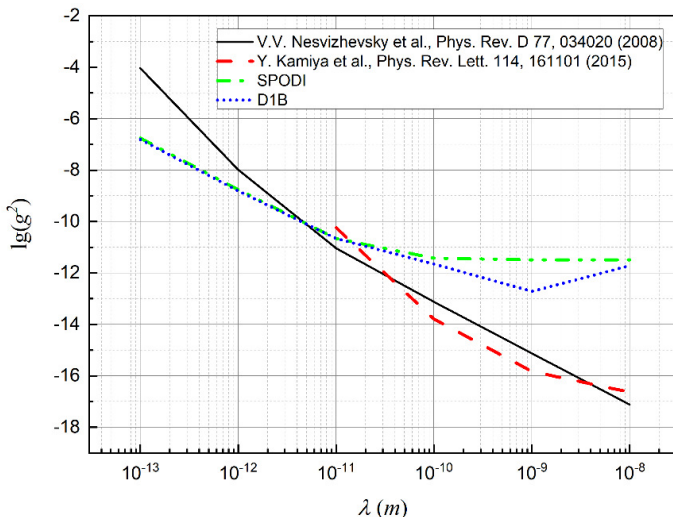


Рис. 1. Ограничения на константу связи g в зависимости от радиуса взаимодействия λ . Разрешенная область находится под линиями

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта №19-32-90202.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Antoniadis S., Baessler M., Buchner V.V., Fedorov S., Hoedl A., Lambrecht V.V., Nesvizhevsky G., Pignol K.V., Protasov S., Reynaud Yu., Sobolev C. R. // Physique. 2011. N 12. P. 755–778.
2. Murata J. A review of short-range gravity experiments in the LHC era / J. Murata S. Tanaka // Clas. Quantum Gravity. 2015. V. 32, N 3. 033001.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

М.А. Погребняк, И.С. Кащенко

Научный руководитель – **И.С. Кащенко**, д-р физ.-мат. наук,
доцент

Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова

В данной работе строится новая математическая модель транспортного потока, которая описывает движение $N \in \mathbb{N}$ автомобилей. В ходе работы изучаются основные динамические свойства модели. Полученная модель применяется для описания динамики реального транспортного потока в различных дорожных ситуациях, а затем результаты моделирования сравниваются с данными, полученными в ходе наблюдения за реальными транспортными потоками и светофорами.

Ключевые слова: математическая модель, динамика движения транспортного потока

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 construction of the new traffic flow mathematical model, which describes the movement of $N \in \mathbb{N}$ vehicles. In this paper, the main dynamic properties of the model are investigated. The resulting model is used to describe the real traffic flow dynamics in various traffic situations, and then the simulation results are compared with the data obtained during the observation of real traffic flows.

Keywords: mathematical model, traffic flow dynamics

Работа посвящена математическому моделированию движения транспортного потока. Построена модель, улучшающая результаты работы автора [1] и описывающая ряд новых дорожных ситуаций.

За $x_n(t)$ ($1 \leq n \leq N, N \in \mathbb{N}$) обозначено положение транспортного средства в момент времени t , а $\dot{x}_n(t)$ и $\ddot{x}_n(t)$ его скорость и ускорение

соответственно. Все автомобили считаются материальными точками, поэтому их внутренняя структура и внешние габариты не учитываются.

Всё движение автомобиля разделено на две фазы: разгон и торможение. Это обусловлено тем, что водитель, управляя автомобилем, может нажимать на педаль газа, увеличивая скорость, или же на педаль тормоза или сцепления, уменьшая скорость. Причём в конкретный момент времени автомобиль либо разгоняется, либо тормозит. Для описания такого поведения введена релейная функция вида:

$$R_n = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta x_n(t, \tau) > S + l_n, \\ 0, & \text{если } \Delta x_n(t, \tau) \leq S + l_n, \end{cases}$$

где $\Delta x_n(t, \tau) = x_{n-1}(t - \tau) - x_n(t)$ – расстояние между соседними автомобилями, τ – время реакции водителя, l_n – безопасное расстояние между автомобилями, а S – тормозной путь.

Под тормозным понимается расстояние, которое проходит транспортное средство с момента срабатывания тормозной системы до полной остановки [2]. Для расчёта данной величины использована формула

$$S = \frac{\dot{x}_n^2(t)}{2\mu g},$$

где μ – коэффициент трения, g – ускорение свободного падения.

$R_n = 1$ соответствует первой фазе движения – разгону, а $R_n = 0$ соответствует второй фазе движения – торможению.

Таким образом, на основе выше приведенных утверждений, была построена новая математическая модель движения транспортного потока, которая имеет вид системы дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом:

$$\begin{cases} \ddot{x}_n(t) = R_n \left[a_n \left(\frac{v_{max} - \dot{x}_{n-1}(t - \tau)}{1 + e^{k_n(-\Delta x_n(t, \tau) + s_n)}} + \dot{x}_{n-1}(t - \tau) - \dot{x}_n(t) \right) \right] + \\ \quad + (1 - R_n) \left[q_n \left(\frac{\dot{x}_n(t)[\dot{x}_{n-1}(t - \tau) - \dot{x}_n(t)]}{\Delta x_n(t, \tau) - l_{n, \varepsilon}} \right) \right], \\ x_n(t) = \lambda_n, \quad \dot{x}_n(t) = v_n, \quad \text{при } t \in [-\tau, 0] \text{ и } 2 \leq n \leq N, \end{cases}$$

где $a_n > 0$ и $q_n > 0$ — коэффициенты, описывающие технические характеристики автомобиля, отвечающие за интенсивность его разгона и торможения соответственно; $v_{max} > 0$ – максимальная желаемая скорость; $l_{n, \varepsilon} > 0$ – безопасное расстояние вида $l_{n, \varepsilon} = l_n - \varepsilon$, где ε – добавка, служащая для предотвращения торможения автомобиля с бесконечной ско-

ростью при $\Delta x_n(t, \tau)$ достаточно близком к l_n ; $k_n > 0$ и $s_n > 0$ – параметры, описывающие поведение водителя: k_n показывает, насколько плавно водитель преследующего автомобиля подстраивает свою скорость под впереди идущий, а s_n отражает расстояние, начиная с которого влияние впереди идущего автомобиля перестаёт превалировать; λ_n – начальное положение автомобиля; v_n – начальная скорость автомобиля.

Полученная дифференциально-разностная модель описывает каждый автомобиль потока, кроме первого. Для его описания доопределены значения $x_0(t)$ и $\dot{x}_0(t)$. В качестве $x_0(t)$ берётся расстояние, которое должен проехать автомобиль, например, это может быть расстояние до светофора или иного препятствия $x_0(t) = L$. За $\dot{x}_0(t)$ в первом слагаемом берётся максимальная желаемая скорость $\dot{x}_0(t) = v_{max}$, а во втором – скорость, до которой первому водителю необходимо сбросить свою текущую скорость $\dot{x}_0(t) = v_{min,0}$.

Для модели на основе физических законов, действующего законодательства Российской Федерации [2] и логических соображений были определены значения и единицы измерения параметров.

Для модели (1) был проведён анализ устойчивости равномерного режима движения, при котором N автомобилей в начальный момент времени имеют одинаковую начальную скорость v_{max} и расположены на расстояниях $\Delta c_n = c_n - c_{n-1}$, где c_n – убывающая последовательность. В таком случае, для любого набора Δc_n существует гладкое многообразие решений системы (1) вида

$$x_n(t) = c_n + v_{max}t.$$

Устойчивость такого решения зависит от знаков выражений:

$$d_n = -\tau v_{max} + c_n - c_{n-1} - l_{n,\varepsilon}.$$

Справедлива следующая теорема:

Теорема 1. *Если для $\forall n$ выполняется неравенство $d_n > 0$, то равномерный режим устойчив. Если хотя бы при одном каком-то i выполняется неравенство $d_n \leq 0$, то равномерный режим неустойчив.*

Из теоремы (1) следует, что если все автомобили потока двигаются на довольно большом расстоянии друг от друга, то такой режим движения устойчив. Устойчивость теряется при увеличении скорости v_{max} , времени реакции водителя τ , безопасного расстояния между автомобилями $l_{n,\varepsilon}$, или при сокращении расстояния между двумя соседними автомобилями Δc_n .

На рис. 1 изображены графики изменения скорости и расстояния для нескольких автомобилей, двигающихся согласно модели (1). Графики

отражают динамику, при которой автомобили начинают движение, а затем останавливаются.

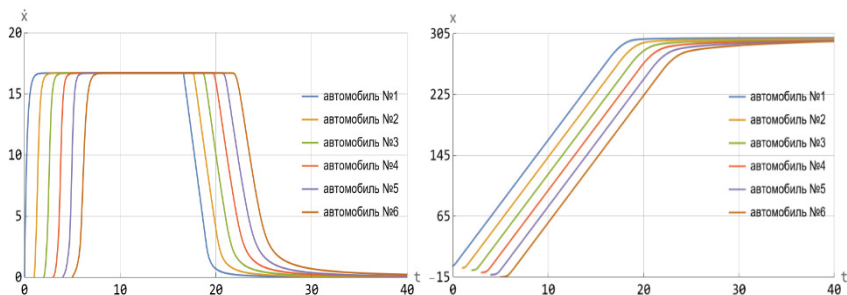


Рис. 1. Графики изменения скорости (слева) и расстояния (справа) для модели (1) при значениях параметров:

$$\tau = 1, \quad a = 4, \quad q = 3, \quad v_{\max} = 16.7, \quad v_{\min,0} = 0, \quad \lambda_n = 3, \quad l_n = 3, \quad L = 300, \\ x_0 = 0, \quad v_n = 0, \quad g = 9.8, \quad \mu = 0.6, \quad k_n = 0.5, \quad s = 35$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Погребняк М.А.* Моделирование движения транспортного потока / М.А. Погребняк, И.С. Кашенко // Семьдесят вторая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с междунар. участием. 21 апреля 2021 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 2 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2021. 999 с. 1 CD-ROM. Текст: электронный.
2. Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 № 1090 (ред. от 21.12.2019) «О правилах дорожного движения» (вместе с «Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения»)

СЕКЦИЯ «НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ»

УДК 62-771

КОНСТРУКЦИЯ ШИННОГО МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЯЖЕЛОЙ ПНЕВМОКОЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ

М.А. Афанасьев, Ю.Г. Попов

Научный руководитель – **Ю.Г. Попов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается область применения шинных манипуляторов для обслуживания тяжелой техники, их конструкция и основные этапы проектирования.

Ключевые слова: шинный манипулятор, фронтальный погрузчик, тяжелая техника, самосвал

DESIGN OF A TIRE HANDLER FOR MAINTENANCE OF HEAVY EQUIPMENT

M.A. Afanasiev, Y.G. Popov

Scientific Supervisor – **Y.G. Popov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The paper examines the area of application of tire handlers for maintenance of heavy equipment, their design and the main stages of their designing.

Keywords: tire handler, wheel loader, heavy equipment, dump truck

Шинные манипуляторы (колесосъемники) предназначены для выполнения задач, связанных с обслуживанием тяжелой и сверхтяжелой пневмоколесной техники. Они обеспечивают безопасное снятие стопорных и бортовых колец, фланцев, ободов и колес в сборе. При этом снижается время выполнения операций и эксплуатационные расходы.

Основными характеристиками, определяющими область применения шинного манипулятора, являются тип базовой машины, тип рабочего

органа, максимальная грузоподъемность, минимальный и максимальный диаметр перемещаемого колеса.

В зависимости от типа рабочего органа, оборудование также делят на модели с 2- и 3-точечным захватом.

В рамках данной работы был проведен анализ существующих типов колесосъемников и выбрана оптимальная конструкция для перемещения шин диаметром до 3,2 м и массой до 3000 кг. При помощи программы Autodesk Inventor был спроектирован шинный манипулятор, представленный на рис. 1.

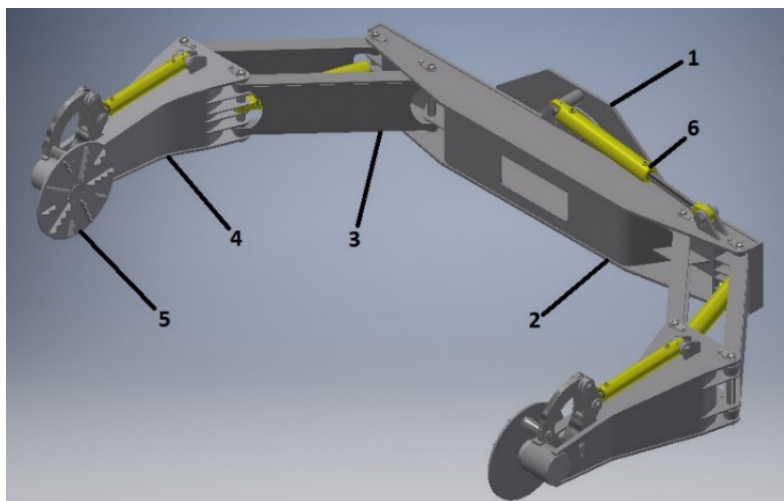


Рис. 1. Конструкция шинного манипулятора

Шинный манипулятор состоит из опорной платформы 1, на которой имеются проушины для крепления к базовой машине. Рама 2 закреплена на опорной платформе посредством поворотного круга. Тяги 3 обеспечивают подвижное соединение рамы с рычагом 4, на которых закреплен диск 5. Поворот рамы относительно опорной платформы, сжатие колеса и поворот дисков осуществляется с использованием гидrocилиндров 6.

В качестве базовой машины для установки шинного манипулятора использован фронтальный погрузчик ПК-55. Расчет на устойчивость против опрокидывания проведен по наиболее опасному положению манипулятора, которое приведено на рис. 2.

В парах трения возникают значительные нагрузки, приводящие к износу и снижению КПД. Поэтому в пальцах крепления тяг предусмотр-

рена система смазки, а вал крепления дисков установлен в корпус с использованием конических подшипников.

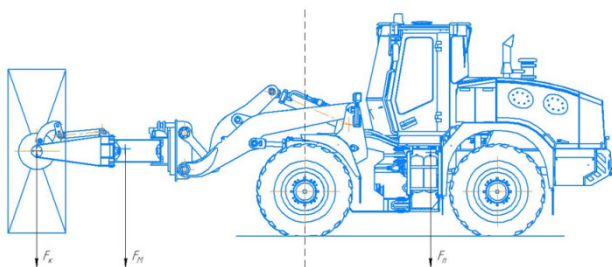


Рис. 2. Проверка устойчивости погрузчика

Важным этапом проектирования шинного манипулятора является расчет на прочность. Перемещение тяг при захвате колеса можно представить в виде кинематической схемы, приведенной на рис. 3. Здесь линия АВ – тяга манипулятора, а $P_{гц}$ – усилие, развиваемое гидроцилиндром. Так как для механизма выбрана параллелограммная схема расположения тяг, рычаг захвата движется поступательно. На кинематической схеме он может быть представлен как шарнирно-подвижная опора В.

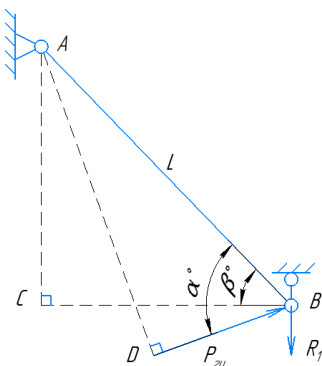


Рис. 3. Кинематическая схема для расчета усилия сжатия

Реакция R_1 , определяющая усилие сжатия колеса, зависит от усилия, создаваемого гидроцилиндром, и положения тяг, и находится по закону

$$R_1 = \frac{P_{гц} * \cos \alpha}{\cos \beta},$$

где α – угол между штоком поршня и тягой; β – угол между осью рычага и тягой.

Расчетная схема усилий, действующих на металлоконструкции шинного манипулятора, приведена на рис. 4 (здесь $P_{сж}$ – усилие сжатия колеса (равное R_1); Q_1, Q_2, Q_3 – нагрузки от шины, гидроцилиндра поворота диска и рычага соответственно; l_1, l_2, l_3 – расстояния от их центров масс до оси рамы соответственно).

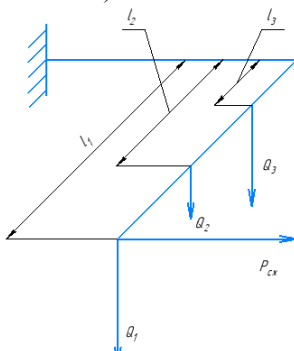


Рис. 4. Расчетная схема манипулятора

Ввиду сложной формы рамы и рычагов, опасные сечения найдены с использованием Autodesk Inventor. Расчет показал, что металлоконструкции обладают достаточной толщиной стенок.

Таким образом, удалось разработать простой по конструкции шинный манипулятор, предназначенный для перемещения грузов массой до 3000 кг. Оборудование состоит из стандартных изделий, что позволяет изготовить его с минимальными затратами в условиях любого предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеронина И.С. Конспект лекций по сопротивлению материалов / Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2020. 101 с.
2. Пат. 190638 РФ, В60В. Многофункциональный самоходный колесосъемник / Изова А.А.
3. Пат. 2695036 РФ, В60С. Универсальный колесосъемник / Резников П.Д., Щербаков Д.А.

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ СТРЕЛЫ ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА

Д.В. Винокуров, Ю.Г. Попов

Научный руководитель – **Ю.Г. Попов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Оптимизация формы стрелы фронтального погрузчика с помощью средств Autodesk Inventor путем применения методик и технологий проектирования «Генеративного дизайна».

Ключевые слова: *Оптимизация формы, «Генеративный дизайн», генератор форм*

OPTIMIZATION OF THE SHAPE OF THE BOOM OF THE FRONT LOADER

D.V. Vinokurov, Y.G. Popov

Scientific Supervisor - **Y.G. Popov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Optimizing the shape of the front loader boom using Autodesk Inventor tools by applying "Generative Design" design techniques and technologies.

Keywords: *Form optimization, "Generative design", form generator*

Среди современных методик и технологий проектирования особое место занимает так называемый «Генеративный дизайн». Термин происходит от английского *Generative Design*, что можно перевести как «Порождающее (создающее) проектирование» [1]. Суть технологии заключается в широком делегировании проектировочных функций вычислительной машине. То есть инженер не ищет самостоятельно решение какой-либо проектной задачи. Он описывает требуемые параметры, формирует перечень условий и ограничений, которым должно соответствовать итоговое решение. После этого специально разработанный алгоритм осуществляет поиск (генерацию) различных вариантов. Инженеру остается вы-

брать наиболее подходящий и, если требуется, добавить последние штрихи к модели.

Современные технологии генеративного дизайна позволяют получать решения, определяемые такими ограничениями как характеристики материала, точки приложения нагрузок, требования к предельным значениям массы, жесткости и надежности конструкции. В настоящее время доступен даже выбор вида производства. Например, с помощью двухкоординатных ЧПУ-станков можно получить одну форму, а с помощью 3D-принтера – совсем другую и программа это учтет. Также в современных решениях широко применяются алгоритмы искусственных нейронных сетей, которые обучаются с помощью человека. Например, с помощью инструментов генеративного дизайна компьютер формирует 100 решений. Инженер указывает, какие из них полностью негодны, какие приемлемы, а какие являются лучшими. На основании этой информации нейросеть при решении следующей задачи предложит более подходящие варианты дизайна.

Стоит отметить, что полноценный Generative Design сегодня все еще является частью достаточно узкой группы «тяжелых» САПР, а также некоторых облачных сервисов. Дело в том, что персональный компьютер практически не пригоден для работы со всем спектром инструментов генеративного дизайна, просто по причине недостаточной производительности. Поэтому такие задачи решаются в основном при помощи вычислительных кластеров или облачных сервисов. Вместе с тем отдельные элементы генеративного дизайна вполне доступны и широкому кругу пользователей [2].

Например, генератор форм от Autodesk – это технология, формирующая твердотельную модель, исходя из величины и направления приложения нагрузок, характеристик материала и условий закрепления детали. Оптимизация при этом осуществляется по критерию минимизации массы детали, при сохранении жесткости и прочности. Данная технология была применена к рабочему оборудованию фронтального погрузчика DM-30 «Волжанин».

В качестве объекта оптимизации была выбрана стрела погрузчика (рис. 1).

Основная сложность при оптимизации формы стрелы погрузчика заключается в непостоянстве действующих на рабочее оборудование нагрузок. При расчете металлоконструкции стрелы применяется три основных расчетных положения с различными действующими силами [3].

Для решения задачи оптимизации стрелу разделили на составляющие части, определив для каждой части ограничения по действующим силам. Было сделано допущение, что боковина стрелы воспринимает только нагрузки, действующие в ее плоскости. Это адекватно, так как

поперечные силы и изгибающие моменты будут парироваться другими элементами металлоконструкции. Но даже в одной плоскости, в разных расчетных положениях направления и величина сил, действующих на боковину, различаются. Одновременное приложение всех сил не имеет смысла, так как многие из них просто скомпенсируются, дав в результате уменьшенную суммарную нагрузку. Поэтому с помощью генератора форм Autodesk Inventor выполняются последовательные расчеты для всех расчетных положений. Полученные в результате оптимизированные формы совмещаются для определения общих элементов, на их основе строится оптимизированная боковина стрелы (рис. 2).

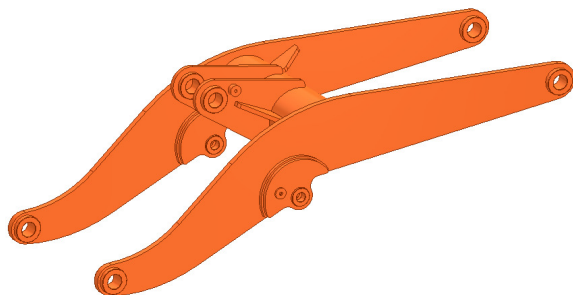


Рис. 1. Рабочее оборудование погрузчика DM-30 «Волжанин»

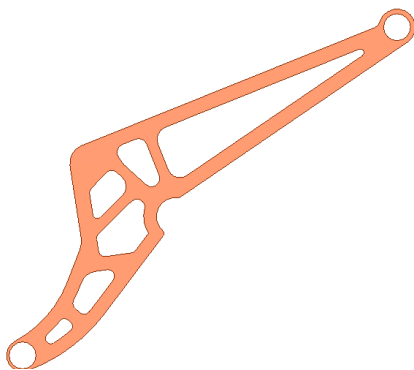


Рис. 2. Оптимизированная форма боковины стрелы

Поперечные нагрузки будут восприниматься центральной пластиной, которая крепится к боковинам стрелы и служит опорой для коромысла (рис. 3). Дальнейшая разработка подразумевает установку коромысла и необходимое редактирование формы центральной пластины, а также проверочные расчеты всех элементов стрелы по отдельности и сборки всего рабочего органа в целом.

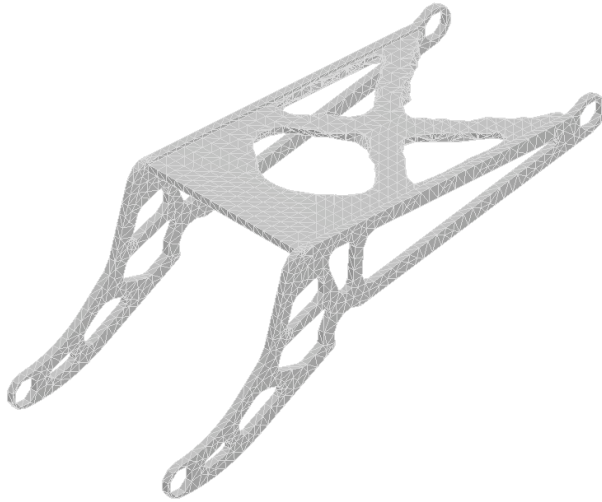


Рис. 3. Стрела в сборе (Оптимизированная форма)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fransson J., Stemberger A. Generativ design genomadditivtillverkning. 2020.
2. Forte: User-driven generative design / X.A. Chen [et al.] // Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2018. P. 1-12.
3. Проектирование машин для земляных работ / под ред. А. М. Холодова. Харьков: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. 272 с.

АНАЛИЗ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА МЕСТНОСТИ

К.А. Гаричев, Д.А. Гончаренко, Л.М. Шамахов

Научный руководитель - **Л.М. Шамахов**, инженер

Ярославский государственный технический университет

В данной работе проведен анализ различных систем позиционирования на местности для мобильных роботов.

Ключевые слова: Мобильный робот, локальное пространство, позиционирование местности, робототехнической системы, Lidar, Slam, ультразвуковые датчики

ANALYSIS OF POSITIONING SYSTEMS ON THE GROUND

K.A. Garichev, D.A. Goncharenko, L.M. Shamakhov

Scientific Supervisor – **L.M. Shamakhov**, Engineer

Yaroslavl State Technical University

In this paper, the analysis of various positioning systems on the ground for mobile robots is carried out.

Keywords: Mobile robot, local space, terrain positioning, robotic system, Lidar, Slam, ultrasonic sensors

Для решения задач определения положения мобильного робота в ограниченном (локальном) пространстве требуется система позиционирования. Такая система должна определять положение платформы в реальном времени с заданной точностью и определенном диапазоне. Использование робототехнической системы в помещении подразумевает, что рабочий диапазон ограничен размерами помещения. Поэтому, одно из требований такой системы – работа внутри закрытых помещений и действие в заданном радиусе.

Еще одним обязательным требованием для робототехнических систем является точность позиционирования, так как они применяются для перемещения и ориентирования объектов, а, следовательно, система локального позиционирования должна обладать высокой точностью

определения координат. Также, требуется быстрдействие системы локального позиционирования с целью обеспечения работы в реальном времени.

На данный момент времени, существуют различные методы позиционирования в реальном времени. Основные используемые для позиционирования (рис. 1) технологии [1]:

- радиочастотные технологии,
- спутниковые системы навигации (ГЛОНАСС, GPS),
- SLAM-алгоритмы и LIDAR-технология,
- технологии локального позиционирования (инфракрасные и ультразвуковые).

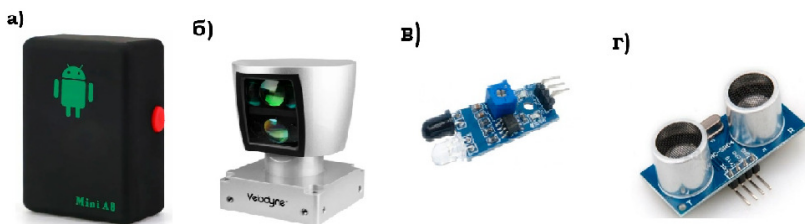


Рис. 1. Оборудование:

а – GPS-трекер; *б* – Lidar; *в* – инфракрасные датчики;
г – ультразвуковые датчики

Для открытой местности подойдут всевозможные спутниковые системы [2], т.к. для закрытой они не подходят из-за своей погрешности (от 1 до 6 метров). Их суть работы заключается в том, что они получают данные о своем местоположении со спутника и программа робота, или человек, руководящий его перемещением, распоряжается этими данными.

Обычно для «адекватного» перемещения роботу требуется точная карта местности, в пределах которой ему предстоит производить свои действия, но она может отсутствовать. Поэтому для того, чтобы робот мог правильно позиционировать себя на закрытой и открытой местности, существуют различные способы.

Технология LIDARc алгоритмами навигации и картографированная SLAM предполагает лазерное сканирование окружающей местности, т. е. получение облака точек, удаленное на некоторое расстояние от сенсора и тем самым получается граница окружающих предметов, очерченная контуром по этим точкам. По смещению показаний на каждой итерации можно оценивать собственное перемещение и таким образом контролировать, и планировать траекторию движения, а также строить карту

местности. Данная технология позиционирования предполагает обработку большого количества поступающих данных в реальном времени, для чего нужны большие вычислительные мощности, а для сканирования местности нужны сканирующие лидары с разверткой по периферии. Данное оборудование дорогостоящее и сложное в эксплуатации.

К радиочастотным методам относятся позиционирование при помощи Wi-Fi, Bluetooth LE. На базе этих технологий реализованы методы измерения расстояния по уровню сигнала [2]. Вычисление расстояния от объекта до меток, координаты которых уже известны, после чего определяются координаты самой робототехнической платформы.

Недостатком радиочастотных технологий позиционирования является недостаточная точность, а также воздействие помех от других источников радиочастотного сигнала, которых на промышленных объектах может быть в большое количество. Такие системы не дают требуемой точности и надёжности.

Также для позиционирования местности редко, но используют техническое зрение. Его преимущество состоит в том, что оно является высокоточным и позволяет передвигать робота без ошибок и столкновений. Но различные камеры требуют высокоточных измерений и финансовых затрат. Техническое зрение в основном используют на военных и космических роботах.

Технология позиционирования с помощью ультразвука, в которой используется физическое явление распространения звуковых колебаний в упругой среде с конечной скоростью. По времени распространения ультразвуковой волны можно рассчитать пройденной ею расстояние. Для определения координат объекта необходимо расположить на нём источник ультразвукового сигнала, расположить приёмники сигнала – опорные точки заданным образом, рассчитать расстояние по задержки распространения ультразвуковой волны от излучателя до приёмников и из геометрических соображений рассчитать координаты объекта. Диапазон частот ультразвука выше порога слышимости, поэтому от работы системы не доставляется дискомфорт окружающим.

В настоящее время ультразвук получил широкое распространение в технике, в измерительных приборах, в средствах неразрушающего контроля, в медицине и др. [3]. Ультразвуковые дальнометры также получили распространение в промышленности. Применение ультразвука в качестве физической основы работы системы позиционирования вполне оправдано. Точность позиционирования сравнима с точностью ультразвуковых дальнометров и равна порядку 1 см, что удовлетворяет требованиям точности к нашей системе.

При проведении анализа робототехнических систем можно сделать следующие выводы:

1. Для позиционирования на открытой местности целесообразно прибегнуть к системам lidar и gps, благодаря их способности сканировать и получать информацию о местоположении на большие расстояния.

2. Для закрытых помещений стоит обратить внимание на получение более точной информации, а не охватывание большой территории. Поэтому стоит использовать инфракрасные и ультразвуковые датчики, которые также отличаются от lidar и gps своей стоимостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вахрушева А.А.* Технологии позиционирования в режиме реального времени // Вестник СГУГиТ. 2017. Т. 22, № 1. С. 170-177
2. *Москаленко Т.А.* Методы позиционирования робототехнических систем внутри помещения на базе телекоммуникационных технологий / Т.А. Москаленко, Р.В. Киричек // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4, № 1. С. 37–45.
3. *Воробьев Е.А.* Теория ультразвуковых колебаний как основа построения и применения технических средств получения информации: Учеб. пособие / СПб.: СПбГУАП, 2002. 54 с.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВСЕНАПРАВЛЕННЫХ КОЛЕС

Д.А. Гончаренко, К.А. Гаричев, Л.М. Шамахов

Научный руководитель - **Л.М. Шамахов**, инженер

Ярославский государственный технический университет

В данной работе рассматривается практическое применение всенаправленных колес в промышленности.

***Ключевые слова:** всенаправленные колеса, омни-колесо, меканум-колесо, порядок вращения колес, перемещение мобильной платформы*

PROMISING APPLICATIONS FOR OMNIDIRECTIONAL WHEELS

D.A. Goncharenko, K.A. Garichev, L.M. Shamakhov

Scientific Supervisor – **L.M. Shamakhov**, Engineer

Yaroslavl State Technical University

In this paper, the practical application of omnidirectional wheels in industry is considered.

***Keywords:** Omnidirectional wheels, Omni-wheel, Mecanum-wheel, wheel rotation order, direction, movement of the mobile platform*

В последнее время, всенаправленное колесо (или колесо Илона или шведское колесо), получили широкое практическое применение. Это обусловлено тем, что колеса обеспечивают максимальную маневренность в стесненных условиях. Конструкция колеса позволяет транспортному средству осуществлять передвижение в любом направлении, включая движение по диагонали и по кругу, и в то же время обеспечивает высокую точность позиционирования. Данные колеса представляют собой (рис. 1) два диска 1, между которыми установлены свободно вращающиеся ролики 2.

Всенаправленное колёсное шасси обычно исполнено на двух типах роликонесущих колес. Так в работе [1] рассматриваются платформы на омни- и меканум-колесах. В омни-колесах оси роликов направлены вдоль плоскости колеса, когда как в меканум-колесах оси роликов расположены под углом 45° . Меканум-колеса благодаря углу между осью ро-

лика и плоскостью колеса обладает большей грузоподъемностью [2] и обеспечивает постоянный контакт с поверхностью опоры. Поэтому использование шасси на меканум-колесах целесообразно для грузовых мобильных платформ, что можно заметить при изучении рынка – именно такой тип роликонесущих колес применяется в промышленности.

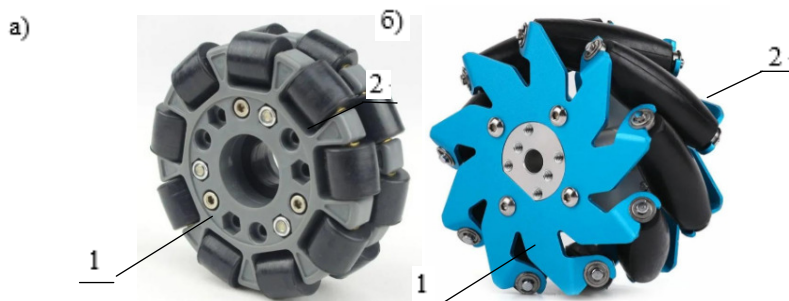


Рис. 1. Всенаправленные колеса:

а – омни-колеса; *б* – меканум-колеса: 1 – диск; 2 – ролик

Так, например, немецкая компания KUKA [3] одна из немногих, которая занимается внедрением мобильных роботизированных систем на всенаправленных колесных шасси в промышленное производство. В разработках компании есть, различного рода мобильные робототехнические системы (рис. 2, *а*), подъемные платформы (рис. 2, *б*), транспортировочные платформы (рис. 2, *в*). Роботизированные системы гарантируют большую свободу передвижения благодаря колесам Илона, а так обеспечивается транспортировка тяжелых грузов.



Рис. 2. Разработки компании KUKA [3]:

а – мобильная промышленная робототехническая система KMRQUANTEC,
б – мобильная подъемная рабочая платформа KUKA Triple Lift,
в – транспортировочная платформа KUKA omniMove

Еще одним примером применения всенаправленных колес является устройство для перемещения оборудования по внешней поверхности труб [4]. Устройство имеет три кольцеобразно установленных модуля, каждый из которых имеет два колеса Илона. Колеса установлены с возможностью изменения направления и скорости вращения. Данное решение обеспечивает перемещение оборудования по заданной траектории с высокой точностью.

Перемещение роботизированных платформ на всенаправленных колесных шасси основано на определенном порядке вращения колес:

- платформа совершает обороты вокруг своей оси, когда колеса справа движутся вперед, а слева назад, и наоборот;
- платформа движется в ту же сторону, что и все колеса;
- платформа движется диагонально, когда два расположенных по диагонали колеса вращаются в одном направлении, остальные два колеса не движутся;
- платформа перемещается в сторону, когда два колеса этой стороны совершают обороты по направлению к центру, остальные два от центра.

При рассмотрении всенаправленных колес можно сделать вывод, что данные колеса помогают достичь максимальной маневренности в стесненных помещениях и при этом не потерять эффективность работы устройств.

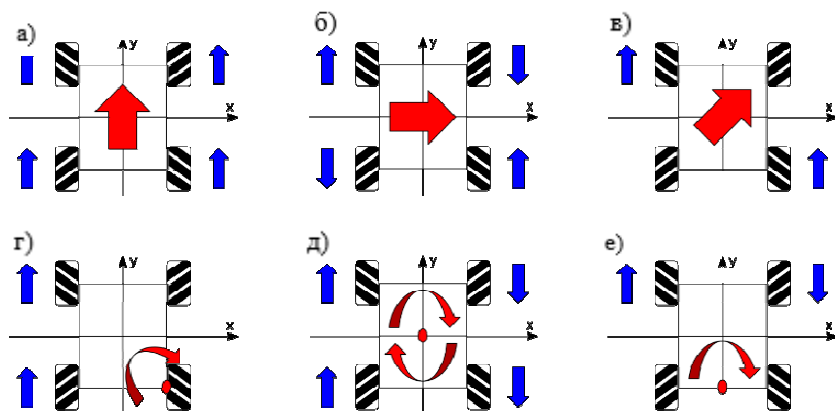


Рис. 3. Схема вращения колес:

- а – движение прямо, б – движение в сторону, в – движение по диагонали,
 г – движение вокруг одного колеса, д – движение вокруг центральной оси,
 е – движение смещенной оси

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Spyros G. Tzafestas. Introduction to Mobile Robot Control. Elsevier, 2014. 750 p.
1. Doroftei I. Grosu V. Spinu V. Omnidirectional Mobile Robot – Design and Implementation // Bioinspiration and Robotics: Walking and Climbing Robots. 2007. P. 511-528
2. Мобильная платформа КУКА. URL: <https://www.kuka.comru-ru> (дата обращения - 16.03.2022)
3. Пат. № 2754645 RU, МПК В62D 57/00, В08В 9/023, В25J 5/00. Устройство для перемещения оборудования по трубам / Дорошинский М.М. опубл. 06.09.2021.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ SBL

А.С. Дмитриев^{1,2}, А.Н. Назаров¹

Научный руководитель – **А.Н. Назаров**, ассистент

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана,
²ООО «ОКБ «Спецтяжпроект»

Рассматривается пролетная грузоподъемная система SBL Enerpac. Экспериментально исследуется характер движения. Оценена эффективность работы базовой системы контроля и корректировки взаимного движения блоков системы.

Ключевые слова: гидравлическая порталная система, характер движения SBL, забег блоков SBL

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE CHARACTER OF SBL SYSTEM MOTION

A.S. Dmitriev^{1,2}, A.N. Nazarov¹

Scientific Supervisor – **A.N. Nazarov**, Assistant

¹Bauman Moscow State Technical University
²«ОКБ «Spetstyazhproekt» LLC

The SBL Enerpac lifting system is considered. The character of motion is investigated experimentally. The efficiency of the basic system of control and correction of mutual movement of the system blocks is evaluated.

Keywords: hydraulic gantry system, SBL movement pattern, SBL blocks run

Гидравлические порталные грузоподъемные системы SBL широко применяется при перемещении грузов до 1100 тонн в случаях, когда применение подъемных кранов невозможно [1, 2].

Из практики применения SBL известны случаи аварий [3] (рис. 1, а), что свидетельствует о наличии недостатков системы безопасности. Система SBL состоит из четырех телескопических грузоподъемных блоков (рис. 1, б). Перемещение систем SBL осуществляется по направляющим рельсам. Каждый блок имеет три телескопические ступени для подъема.

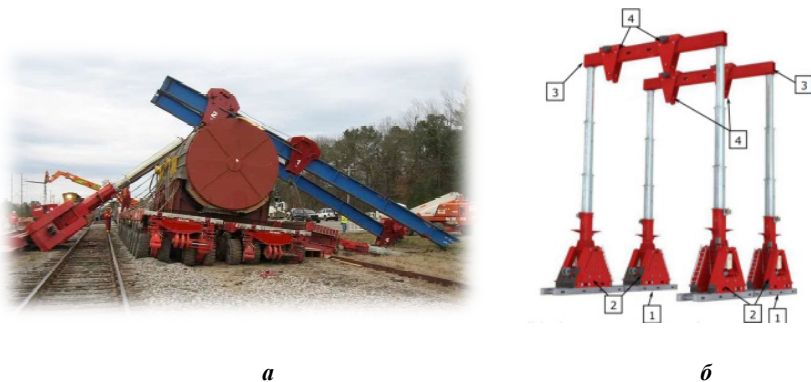


Рис. 1. Авария SBL (а) и состав SBL (б):

1 – направляющие пути, 2 – гидроподъемник, 3 – верхняя поперечная балка, 4 – блок бокового перемещения

Наибольшую опасность для работы системы представляют горизонтальные нагрузки. Причиной их возникновения могут служить: неправильное взаимное расположение направляющих путей, ветровые нагрузки, чрезмерное отклонение стропов от вертикали, вызванное неправильным первоначальным взаимным расположением блоков или забегом блоков друг относительно друга в процессе транспортировки груза.

Авторы данной работы исследуют влияние геометрического расположения блоков SBL (начального и образованного в процессе движения) на возникновение недопустимых нагрузок, вызывающих разрушение элементов системы.

С целью определения реальных забегов блоков системы, образующихся при перемещении груза, был проведен эксперимент.

Материалы и методы. Исследуемая система – SBL Enerpac 1100, максимальная грузоподъемность – 1100 тонн. Масса перемещаемого груза – 320 тонн. Направляющие рельсы и блоки SBL были выставлены специалистами ООО «ОКБ «Спецтяжпроект» в соответствии с руководством по эксплуатации [4]. Система располагалась внутри цеха, следовательно, влияние ветровых нагрузок на характер движения отсутствовало.

После установки SBL-системы и подъема груза фиксируем взаимное расположение блоков. Определение расстояния A и B между блоками, расположенными на одном направляющем рельсе (1 и 4, 2 и 3 соответственно) производилось с помощью лазерной рулетки. Для определения забега e между блоками 1 и 2, расположенными на разных направляющих рельсах, использовали лазерный уровень, установленный на блоке 2, и мишень, установленная на блоке 1 (рис. 2).

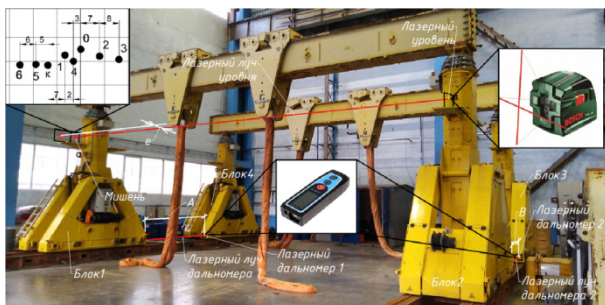


Рис. 2. Схема проведения эксперимента

Забег блоков 3 и 4 вычисляли на основе измерений A , B и e по формуле

$$\Delta_{3-4} = A - B - e. \quad (1)$$

Груз перемещали на 2000 мм, производя измерения в промежуточных точках (табл. 1, рис. 3).

Таблица 1. Результаты измерения взаимного расположения блоков системы

Номер измерения	Перемещение, мм	Расстояние между блоками, мм					
		1 – 2 e	1 – 4		2 – 3		3 – 4
			A	Δ_{1-4}	B	Δ_{2-3}	Δ_{3-4}
1	0	0	3652	0	3532	0	120
2	100	-4	3650	-2	3547	15	107
3	600	6	3633	-19	3555	23	72
4	1100	12	3626	-26	3563	31	51
5	1200	-3	3622	-30	3571	39	54
6	2000	-11	3607	-45	3574	42	44

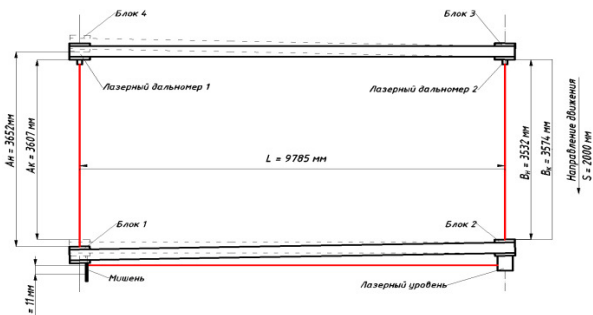


Рис. 3. Начальное и конечное взаимное расположение блоков при перемещении на 2000 мм:

A_n, B_n – расстояние между блоками 1 и 4, 2 и 3 соответственно до перемещения;
 A_k, B_k – после перемещения; L – пролет

Результаты. Погрешность взаимного положения перед началом движения составила 120 мм. При перемещении на 2 м минимальный забег составил 12 мм (для блоков 1 и 2), максимальный – 45 мм (для блоков 1 и 4). Максимальная скорость образования забега составила 38 мм/м (для блоков 3 и 4). При ручном выставлении блоков перед подъемом не была достигнута точность опорного контура (превышение в 4 раза), требуемая в руководстве (30 мм [4]), а при передвижении отклонение больше заявленного достигли через 600 мм движения. Эксперимент показал необходимость совершенствования системы безопасности на двух этапах: 1) выставление блоков перед подъемом; 2) поддержание взаимного расположения блоков при движении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спецтяжавтотранс. Деятельность. Монтаж. URL: <https://statgk.ru/all-services/installation/> (дата обращения 15.03.2022)
2. *Zhadanovsky B.* Organizational and Technological Solutions for Performing Works Using Specialty Equipment / В. Zhadanovsky, V. Bazanov // E3S Web of Conferences. 2019. V. 97. 06002. 9 p. DOI:10.1051/e3sconf/20199706002. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/23/e3sconf_form2018_06002.pdf (дата обращения 15.03.2022)
3. The works international. Services – Accident Investigation. URL: <https://the-works-int.com/services/accident-investigation/> (дата обращения 15.03.2022)
4. Manualslib. Suspend The Load - Enerpac SBL1100 Instruction And Maintenance Manual. 151 с. URL: <https://www.manualslib.com/manual/1777330/Enerpac-Sbl1100.html?page=89#manual> (дата обращения 15.03.2022)

АКТУАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА ВИБРОПЛИТАМИ

С.С. Ефимов, И.С. Тюремнов

Научный руководитель – **И.С. Тюремнов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются порядок актуализации программного комплекса расчета результатов уплотнения грунта виброплитой и описывается содержание работ на различных этапах этого процесса.

Ключевые слова: грунт, уплотнение, виброплита, модель реологическая, исследования экспериментальные, верификация, эксперимент вычислительный, комплекс программный

UPDATING THE METHOD FOR FORECASTING THE RESULT OF SOIL COMPACTION WITH VIBRATORY PLATES

S.S. Efimov, I.S. Tyuremnov

Scientific Supervisor - **I.S. Tyuremnov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The procedure for updating the software package for calculating the results of soil compaction with a vibrating plate is considered and the content of work at various stages of this process is described.

Keywords: soil, compaction, vibrating plate, rheological model, experimental studies, verification, computational experiment, software package

Виброплиты в строительстве получили широкое распространение. Данное оборудование применяется для уплотнения различных дорожно-строительных материалов (грунтов, каменных материалов, тротуарной плитки, асфальтовых смесей и др.) в траншеях, на откосах, тротуарных дорожках, в пазухах фундаментов и других работах, где от машины необходимы сравнительно малые габариты.

Виброплиты имеют следующие основные технические характеристики: общая масса, вынуждающее усилие и частота колебаний вибро-возбудителя, мощность двигателя, размеры основания. Виброплиты одной массы у разных производителей имеют значения величин технических характеристик, изменяющихся в большом диапазоне. К примеру, относительное вынуждающее усилие при массе виброплиты около 100 кг может изменяться от 10 до 20 [1]. Причина данной ситуации - отсутствие методики расчёта влияния технических характеристик виброплит на результат уплотнения грунта в конкретных условиях. По этой же причине производители не могут дать рекомендаций по оценке технологических возможностей своего оборудования и назначении режимов работы при уплотнении грунтов в различных ситуациях.

Вследствие этого возникает проблема выбора модели виброплиты для работы в конкретных грунтовых и технологических условиях и обеспечения качества уплотнения грунта (обоснования количества проходов виброплиты).

Перед началом разработки вышеуказанной методики расчета была проанализирована вся доступная информация о технических характеристиках вибрационных плит различных иностранных и отечественных производителей (более шестисот моделей) для поиска взаимосвязей между основными техническими характеристиками виброплит.

На втором этапе была разработана реологическая модель взаимодействия виброплиты с грунтом. За основу была выбрана трёхмассная модель [2], содержащую грунт, основание виброплиты и раму виброплиты, связанной с основанием упруго-вязкими амортизаторами. Данный подход является развитием и актуализацией, ранее использовавшейся одномассной реологической модели [3]. Также в рамках предложенной трёхмассной реологической модели стало возможным воспроизведение как безотрывных режимов взаимодействия виброплиты с грунтом, так режимов с периодическим отрывом основания виброплиты от грунта. Это является важным фактором, поскольку вынуждающее усилие вибро-возбудителя виброплиты во много раз превышает вес самой виброплиты, что приводит к отрывному характеру колебаний виброплиты на грунте.

В связи с очень ограниченной информацией о численных значениях упругих и вязких характеристик амортизаторов виброплиты, были проведены экспериментальные исследования по определению значений коэффициента упругого сопротивления амортизаторов виброплиты ZITREK CNP-20, что составило содержание третьего этапа работ.

На следующем этапе проводились полевые экспериментальные исследования уплотнения грунта виброплитой ZITREK CNP-20 (рис. 1). Были получены данные об ускорениях, перемещениях, скоростях перемещения основания и рамы виброплиты, а также изменению значений

динамического модуля деформации грунта E_{vd} по проходкам [3]. Эти данные необходимы для верификации реологической модели и, в целом, методики расчета.



Рис. 1. Экспериментальные исследования уплотнения грунта виброплитой ZITREK CNP-20

На пятом этапе работы по разработанной реологической модели был проведен вычислительный эксперимент. В результате которого были получены уравнения регрессии для расчёта времени нарастания и спада контактных напряжений грунта в пределах выделенного характерного цикла нагружения, а также максимальной силы реакции грунта в функции массы виброплиты, коэффициентов упругого и вязкого сопротивления грунта.

Шестой этап планируется посвятить верификация реологической модели посредством сравнения результаты моделирования с экспериментальными данными, полученными на третьем этапе.

Заключительный этап будет содержать актуализацию программного комплекса расчета результатов уплотнения грунта виброплитой [3] с учетом новой реологической модели и результатов вычислительного эксперимента. Верификацию планируется осуществлять сравнением результатов расчет уплотнения грунта различными моделями виброплит с результатами собственных экспериментальных исследований и исследований других авторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тюремнов И.С.* Статистический анализ технических характеристик вибрационных плит / И. С. Тюремнов, А. А. Новичихин // *Механизация строительства*. 2014. № 11(845). С. 32-35.
2. *Тюремнов И.С.* К вопросу обоснования значения присоединённой массы грунта при реологическом моделировании процесса уплотнения грунта вибрационным катком / И.С. Тюремнов, А.С. Морев, Д.В. Фурманов // *Проблемы машиноведения: материалы III Междунар. науч.-техн. конф.*, Омск, 23–24 апреля 2019 года. Омск: Омский гос. техн. ун-т, 2019. С. 215-223.
3. *Тюремнов И.С.* Уплотнение грунтов вибрационными плитами [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.С. Тюремнов, А.А. Новичихин; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Яросл. гос. техн. ун-т". Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2018. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM);
4. *Тюремнов И.С.* Экспериментальные исследования уплотнения грунта виброплитой / С.С. Ефимов, И.С. Тюремнов, Д.А. Шорохов, А.С. Краюшкин // *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. 112-116.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА В ПРОГРАММЕ LS-DYNA

А.С. Краюшкин, И.С. Тюремнов

Научный руководитель – **И.С. Тюремнов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В данной статье приведён обзор подходов к моделированию уплотнения грунтов виброударными нагрузками, обоснована целесообразность использования метода конечных элементов и применения программы LS-DYNA. Проведен предварительный анализ моделей грунта из библиотеки LS-DYNA. Получены некоторые результаты моделирования распределения напряжений в грунте при нагружении его поверхности цилиндрическим штампом.

Ключевые слова: грунт, уплотнение, метод конечных элементов, LS-DYNA, модели грунта, напряжения

FEATURES OF SOIL COMPACTION MODELING IN THE LS-DYNA PROGRAM

A.S. Krayushkin, I.S. Tyuremnov

Scientific Supervisor - **I.S. Tyuremnov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This article provides an overview of approaches to modeling soil compaction by vibro impact loads, the expediency of using the finite element method and the application of the LS-DYNA program is substantiated. A preliminary analysis of soil models from the LS-DYNA library was carried out. Some results of modeling the distribution of stresses in the soil when its surface is loaded with a cylindrical punch are obtained.

Keywords: soil, compaction, finite element method, LS-DYNA, soil models, stress

Процесс уплотнения – это одна из наиболее распространённых технологий повышения прочности, несущей способности и устойчивости к погоднo-климатическим факторам всех инженерных сооружений, возводимых на грунтах. Плохое или недостаточное уплотнения грунтов при-

водит к преждевременному разрушению дорог и возведенных на грунтах строительных конструкций [1].

Для совершенствования техники и технологии уплотнения грунтов необходимо разработать математическую модель влияния режимов нагружения и характеристик рабочего органа на результат уплотнения грунта в конкретных условиях. Традиционно для задач моделирования процессов уплотнения грунта применялись методы реологического моделирования, полуэмпирические методы и методы на основе уравнений механики сплошной среды. Однако эффективность этих методов с каждым годом уменьшается из-за некоторых ограничений. Так при реологическом моделировании рассматривается только состояние точки на поверхность материала, а процессы в толщине слоя не исследуются. Полуэмпирические методы не обладают предсказательными возможностями, потому что они дают результаты только в границах постановки эксперимента.

При выборе подходов к моделированию уплотнения грунта следует учитывать следующие особенности процесса уплотнения:

- возможность учета уплотнения грунта не только на поверхности, но и по всей толщине слоя, в том числе при непостоянстве свойств грунта по толщине;

- высокую скорость и частоту приложения вибрационных и виброударных нагрузок, сложный и нелинейный характер деформирования грунта (в том числе отставание развития деформаций от напряжений), возможность реализации отрывных режимов колебаний рабочего органа на грунте;

- широкий диапазон режимов нагружения (частот и вынуждающих усилий) и геометрии рабочих органов (например, плоских и цилиндрических с различным диаметром);

- ограниченность информации о численных значениях физико-механических характеристик грунта при изменении вида грунта, его плотности и влажности.

На сегодняшний день, наиболее перспективным подходом для моделирования уплотнения грунта, с учетом всех вышеперечисленных особенностей, является метод конечных элементов (МКЭ). Ключевая идея метода заключается в следующем: сплошная среда моделируется путём разбиения ее на области (конечные элементы) определенной формы и размера, в каждом из которых поведение среды описывается с помощью отдельного набора выбранных функций, представляющих изменения напряжений и деформаций в указанной области [2]. Преимущества МКЭ заключаются в следующем:

- возможность моделирования различных материалов, в том числе, со свойствами, изменяющимися по глубине, наличием подстилающего жесткого основания и т.д.;

- возможность расчета нормальных и касательных напряжений, объемных и сдвиговых деформаций по всему объему уплотняемого грунта;

- учёт реальной геометрии рабочего органа (что нереализуемо в других методах);

- возможность моделирования сложных условий нагружения.

На данный момент существует несколько коммерческих программ, использующих метод конечных элементов: ABAQUS, LS-DYNA, Nastran, CTH, ALEGRA, ALE-3D, RADIOSS и др. Пригодность многих кодов конечных элементов и их моделей материалов для моделирования больших деформаций в грунтах зависит от производительности программного обеспечения и встроенных моделей материалов. Для изучения процесса уплотнения грунта была выбрана программа LS-DYNA. Выбор был связан, главным образом, из-за обширной базы моделей грунтов, а также возможностью использования программой LS-DYNA модулей комплекса ANSYS для расширения возможностей.

Важное значение имеет выбор модели материала (грунта). На сегодняшний день можно выделить примерно 30 моделей грунтов в программе LS-DYNA, каждая из которых имеет свои особенности. В результате обзора публикаций по теме исследования [3, 4], были выделены две наиболее часто встречаемые модели грунта. Так самой используемой моделью грунта является Mat_005. Именно эту модель материала использует большинство исследователей. Название модели «Грунт и пеноматериал». В модели Mat_005, используется нелинейная, зависящая от давления функция пластичности Друкера-Прагера. Однако модель Mat_005 характеризуется невысокой сходимостью результатов моделирования с экспериментальными данными. Возможно, это связано с ограничениями, накладываемыми общими узлами смежных твердых элементов. Можно сказать, что в модели Mat_005 грунт ведет себя как губка и модель приближена к свойствам водонасыщенной глины. На рисунке (рис. 1) представлено расчетное распределение напряжений в грунте по модели Mat_005 при вдавливании цилиндрического штампа диаметром 155 мм и шириной 200 мм под нагрузкой 3500 Н в грунт в форму куба со стороной 775 мм

Наиболее интересной и максимально на данный момент подходящей моделью грунта является модель Mat_147. Её отличием от остальных моделей является включение в расчёт эффекта избытка воды в порах. Следовательно, модель Mat_147 может учитывать влажность грунта, что так же является важным фактором. Модель грунта Mat_147 базируется на законе модифицированной поверхности Мора-Кулона. Модель расшире-

на за счет включения эффектов избыточной воды в порах, смягчения деформации, кинематического упрочнения, эффектов скорости деформации и удаления элементов. На рис. 2 представлено распределение напряжений в грунте по модели Mat_147, полученное при нагружении поверхности цилиндрическим штампом с теми же характеристиками, что для рис. 1. Анализ распределения напряжений показывает характерную концентрацию напряжений вблизи нижней части цилиндрического рабочего органа и распределение напряжений по объему грунта в форме «луковицы» [5], что не наблюдается для модели Mat_005.

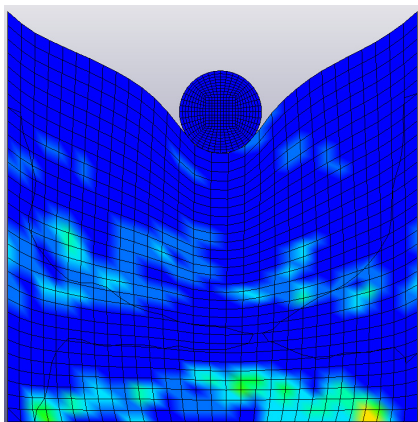


Рис. 1. Напряжение по Мизесу модели Mat_005

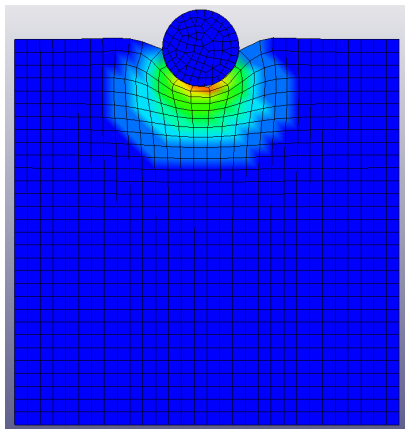


Рис. 2. Напряжение по Мизесу модели Mat_147

Таким образом, в результате работы были сформулированы основные особенности процесса уплотнения, которые должны учитываться при моделировании; обоснован выбор программы для моделирования уплотнения грунта с использованием метода конечных элементов; на основании обзора исследований, определён перечень моделей грунта для использования в программе LS-DYNA; проведено моделирование распределение напряжений в грунте при статическом нагружении его поверхности цилиндрическим штампом.

Для дальнейших исследований необходимо обратить внимание на воспроизведение моделями грунта следующих особенностей:

- возможность накопления необратимой деформации;
- воспроизведение эффекта отставания развития деформаций от развития напряжений при ударных и высокоскоростных нагружениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хархута Н.Я.* Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н.Я. Хархута, Ю.М. Васильев. М.: Транспорт. 1975. 285 с.
2. *Маковкин Г.А.* Применение МКЭ к решению задач механики деформируемого твердого тела. Ч. 1: Учебное пособие / Г.А. Маковкин, С.Ю. Лихачева. Н.Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2012. 71 с.
3. *Nazhat Y.* Behaviour of sandy soil subjected to dynamic loading:thesis degree of doctor of philosophy. 2013. 366 p. URL: <http://hdl.handle.net/2123/9435>
4. *Shokouhfar S.* A Virtual test platform for analyses of rolling tyres on rigid and deformable terrains: thesis PhD / S. Shokouhfar. 2017. 253 P. URL: <https://spectrum.library.concordia.ca/id/eprint/982468/>
5. *Форссблад Л.* Вибрационное уплотнение грунтов и оснований / пер. с англ. И.В. Гагариной. М.: Транспорт. 1987. 188 с.

УДК 621.878.44

АДАПТЕР ДЛЯ ЗАМЕНЫ РАБОЧЕГО ОРГАНА ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА

А.П. Кузнецов, И.С. Тюремнов, Н.Е. Тарасова

Научный руководитель – **Н.Е. Тарасова**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматривается вопрос быстрой замены рабочих органов одноковшовых погрузчиков. Приведена конструкция адаптера для замены рабочих органов на фронтальном погрузчике ДМ-30.

***Ключевые слова:** фронтальный погрузчик, сменное оборудование, строительная техника, ковши, адаптер*

STUDY OF THE ADAPTER FOR THE WORKING BODY FRANT LOADER

A.P. Kuznetsov I.S. Tyremnov, N.E. Tarasova

Scientific Director – **N.E. Tarasova**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article deals with the issue of rapid replacement of the working bodies of single-bucket loaders. The design of the adapter for replacing the working bodies on the DM-30 front loader is given.

***Keywords:** front loader, replacement equipment, construction equipment, bucket, adapter*

Фронтальные погрузчики начали интенсивно развиваться в середине прошлого столетия в связи с необходимостью транспортирования и погрузки больших объемов сыпучих материалов в строительстве, горной промышленности и других смежных отраслях. За истекший период возникли фронтальные погрузчики самых разнообразных конструкций и грузоподъемностей. Фронтальные погрузчики работают с различным сменным оборудованием, кроме основного ковша могут использоваться снегоуборочные ковши или отвалы, различные захваты, двухчелюстные

ковши, снегоуборочное шнекороторное оборудование, оборудование с вилами и другое сменное оборудование [1].

В случае, когда погрузчик имеет несколько видов рабочего оборудования, замена его требует времени и вызывает сложности. Для быстрой замены ковшей и другого рабочего оборудования на одноковшовых погрузчиках и экскаваторах применяются быстросменные устройства или адаптеры, позволяющие сократить время замены рабочего оборудования. Такие адаптеры бывают механического типа (с ручным управлением) и гидравлического типа (с использованием гидроцилиндров для закрепления рабочего оборудования). Вторые удобнее и требуют меньшего времени для замены рабочего оборудования.

Была поставлена задача создания более упрощенного варианта адаптера, чем в данный момент представленные на дорожном рынке.

Для решения поставленной задачи был спроектирован гидравлический адаптер, который устанавливается на базе фронтального погрузчика ДМ-30, производимого «Заводом Дорожных Машин» (рис. 1). Этот погрузчик производится в России, но конструкция предусматривает использование подъёмного механизма для установки сменного оборудования на погрузчик. Преимуществом при выборе базовой машины является ее достаточно несложная конструкция, позволяющая перевозить и поднимать грузы весом 3400 кг.



Рис. 1. Погрузчик фронтальный ДМ-30 с ковшем [2]

Разработка нового адаптера позволяет менять рабочее оборудование из кабины рабочей машины без помощи подъёмного оборудования, а также позволяет устанавливать на погрузчик рабочее оборудование различных производителей. Конструкция адаптера представлена на рис. 2.

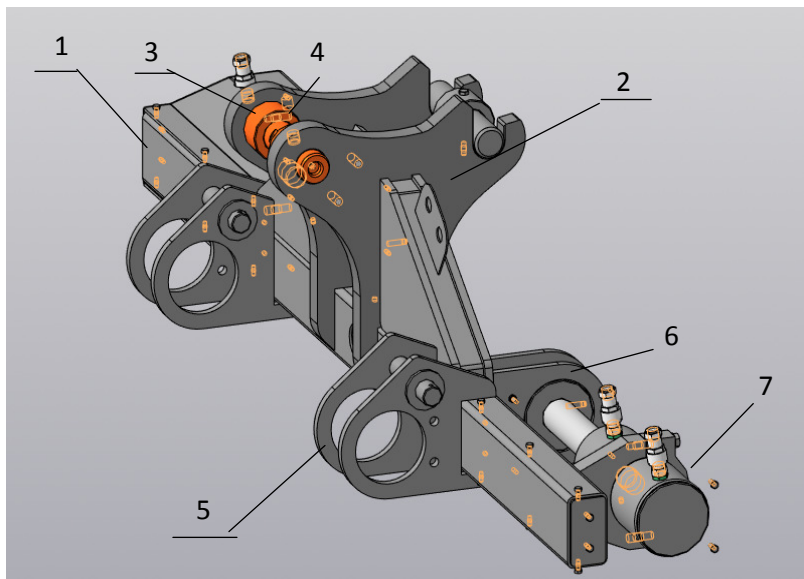


Рис. 2. Гидравлический адаптер фронтального погрузчика

Адаптер состоит из основной балки 1, приваренной к усиленной центральной опоре 2, с вваренными втулками 3 и установленным пальцем 4. К основной балке приварены проушины 5 для крепления, напрямую к погрузчику. На обратной стороне приварена опора с проушинами 6 и планки крепления гидроцилиндра 7 для смены рабочего оборудования.

Данный вид крепления позволяет с легкостью менять любой вид рабочего оборудования на фронтальный погрузчик (рис. 3).

Для обеспечения быстрой смены оборудования используется «гидравлический» способ фиксации, так как сменное оборудование будет соответствовать габаритам. При подъезде машины к сменному оборудованию с установленным заранее пальцем оператор центральными опорами поддевает палец, приподнимает сменное оборудование, которое по инерции входит в проушины после чего происходит выдвижение штоков гидроцилиндров, которые фиксируют оборудование.

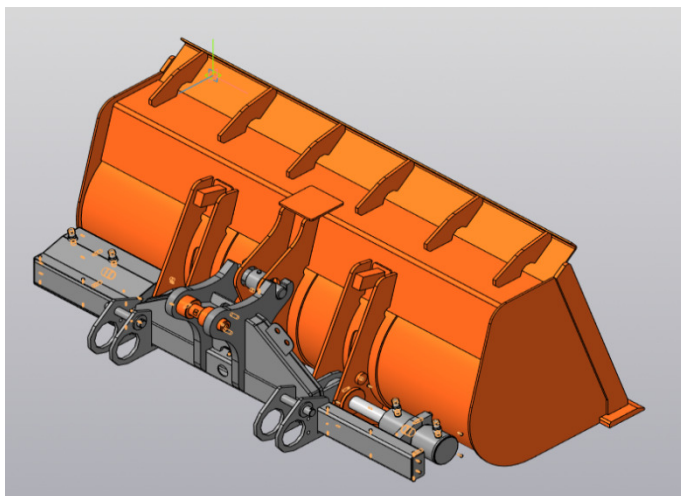


Рис. 3. Адаптер в сборе с ковшом

Спроектированная конструкция адаптера позволяет использовать большое количество сменного оборудования на фронтальном погрузчике, а также позволяет экономить время в работе при замене ковшей, что увеличивает технологические возможности базовой машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Строительные машины: Учебник для вузов по спец. ПГС / Д.П. Волков, В.Я. Крикун, О.Е. Рынсков; под ред. Д.П. Волкова. М.: Высш. шк., 1988. 319 с.
2. Завод дорожных машин. Каталог продукции. Фронтальные погрузчики. URL: https://dormashina.ru/produkcija/frontalnie_pogruzchiki

УДК 625.768

К ВОПРОСУ О СОДЕРЖАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

А.С. Кусмарцев

Научный руководитель – **Д.И. Трошин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается актуальная проблема очистки автомобильных дорог и тротуаров от наледи и уплотненного снега.

Ключевые слова: наледь, снег, фреза, оборудование, покрытие

TO QUESTION OF THE MAINTENANCE OF ROADS IN WINTER PERIOD

A.S. Kusmartsev

Scientific Supervisor - **D. I. Troshin**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The actual problem of cleaning roads and sidewalks from ice and compacted snow is considered.

Keywords: ice, snow, milling cutter, equipment, coating

В зимнее время года борьба с образованиями наледи и уплотненного замерзшего снега на автомобильных дорогах и тротуарах, является одной из основных актуальных проблем, не имеющая технического решения на сегодняшний день.

Состояние покрытия проезжей части при высоком, среднем и допустимом уровне содержания должно соответствовать требованиям по ГОСТ Р 59434–2021 и, в соответствии с указанными критериями, срок устранения снегопадов составляет от 4 до 12 часов в зависимости от категории дороги. В соответствии с ГОСТ Р 56195–2014 на придомовой территории нормативный срок полной ликвидации зимней скользкости, окончание работ по снегоочистке с момента окончания снегопада или метели не должен превышать более 3 часов.

С увеличением интенсивности движения транспорта повышаются и требования к основным транспортно-эксплуатационным показателям, в первую очередь безопасность движения на дороге, а также стабильности скорости автомобилей.

По статистике, количество дорожно-транспортных происшествий на дорожном покрытии с наледью или уплотненным замерзшим снегом почти в 5 раз больше, чем на чистом сухом не замерзшем покрытии.

Существует несколько различных способов удаления наледей и уплотненного замерзшего снега.

Наиболее простым и часто применяемым способом является очистка снежно-ледяных образований с помощью химических реагентов, песко-соляных смесей и т. п. Этот способ является достаточно эффективным, но его применение влечет за собой ряд недостатков, одним из которых является загрязнение окружающей среды.

Удаление наледи и уплотненного снега с помощью газоструйных машин. Такой способ борьбы с наледью требует больших мощностей, в связи с чем требует больших финансовых затрат, поэтому эффективно используется только на аэродромах.

Наиболее экономичным, технологически простым в применении и экологически чистым является механический способ. Но актуальной проблемой содержания автодорог и тротуаров в зимний период остается из-за отсутствия специальной техники, которая смогла бы эффективно удалять любые снежно-ледяные образования с дорожных покрытий без ущерба последнему. Для уборки наледи на сегодняшний день применяется тяжелая техника, а также широко используется ручной труд.

Для решения данной проблемы на кафедре СДМ ЯГТУ разработана конструкция фрезы на базе сельскохозяйственного мотоблока (рис. 1). Фреза представляет собой барабан с установленными на нем упругими режущими элементами, позволяющими удалять наледь без ущерба дорожному покрытию (патент №206257).

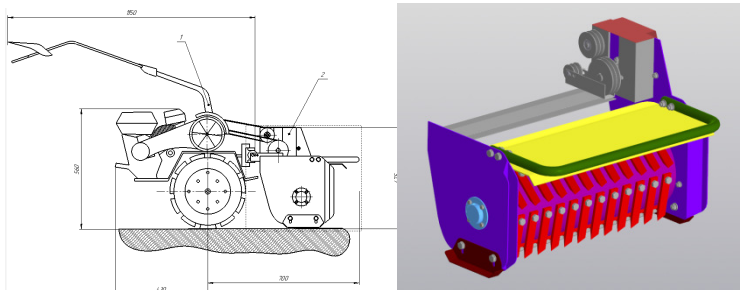


Рис. 1. Навесное фрезерное оборудование

Такое фрезерное оборудование, может позволить добиться качественного содержания автомобильных дорог и пешеходной зоны в зимнее время, чтобы не повреждать полотно дорожного покрытия, но при этом удалить слой льда и уплотненного снега. Спроектированное рабочее оборудование поможет сократить затраты ресурсов на очистку улиц, а также затраты человеко-часов.

Для определения рациональных геометрических параметров рабочего оборудования (углы установки резцов, форма поперечного сечения резца, расстановка резцов на барабане), а также режимов работы (скорость резания, подача и т. д.) на кафедре СДМ ЯГТУ были проведены исследования на маятниковом стенде (рис. 2).

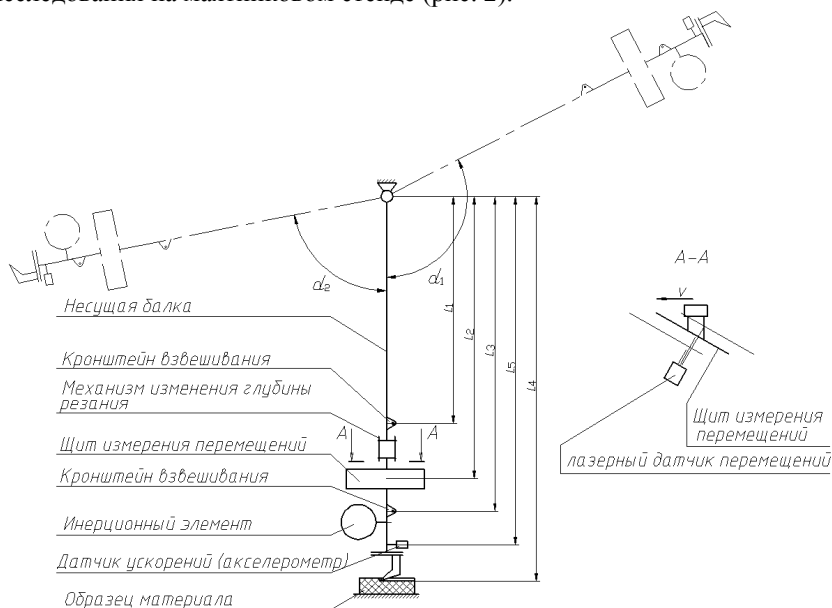


Рис. 2. Схема маятникового стенда

Стенд маятникового типа позволяет регулировать в широких пределах скорость и силу резания, а также регистрировать полученные значения.

Для определения силовых и энергетических характеристик процесса резания единичными режущими элементами стенд маятникового типа наиболее полно соответствует задачам моделирования процессов фрезерования и динамического разрушения материалов (рис. 3). Это дает нам возможность испытать реальные резцы, определить угол наклона резания и рассчитать силовые и энергетические характеристики процес-

сов резания, протекающих со скоростями, близкими к величинам, реализующимся на рабочих органах реальных машин и оборудования.



Рис. 3. Испытания на маятниковом стенде

Таким образом, проведенные исследования позволили сконструировать фрезерное оборудование, позволяющее добиться качественного содержания автомобильных дорог и пешеходной зоны в зимнее время, сократить затраты ресурсов на очистку улиц, а также затраты человеко-часов, так как для очистки наледи до сих пор используют ручной труд. Данное оборудование можно применять не только в городских условиях, но и на автомагистралях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бялобжевский Г.В.* Борьба с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. М.: Транспорт, 1975. 175 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.
4. *Абергауз В.Д.* Режущие органы машин фрезерного типа для разработки горных пород и грунтов. М.: Машиностроение, 1965. 280 с.
5. Автомобильные дороги России на рубеже веков. Цифры и факты / Рос. доп. агентство. М., 2000.

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ БЕТОНА ПРИ КОНТАКТНОМ РАЗРУШЕНИИ

П.С. Ломов, М.С. Ломов, Д.В. Фурманов

Научный руководитель – **Д.В. Фурманов**, канд. техн. наук

Ярославский государственный технический университет

Представлены результаты испытаний стандартных образцов бетона различной прочности при испытании на разрушение при внедрении сферического и клиновидного штампов на гидравлическом прессе. Показаны зависимости сил, приводящих к разрушению образца от прочности образца бетона.

***Ключевые слова:** прочность бетона, одноосное сжатие, сферический штамп, цилиндрический штамп*

EVALUATION OF THE STRENGTH OF CONCRETE REFERENCE SAMPLES UNDER CONTACT FAULT

P.S. Lomov, M.S. Lomov, D.V. Furmanov

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

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl

The results of tests of standard samples of concrete of various strengths during a fracture test with the introduction of spherical and wedge dies on a hydraulic press are presented. The dependences of the forces leading to the destruction of the sample on the strength of the concrete sample are shown.

***Keywords:** concrete strength, uniaxial compression, spherical stamp, cylindrical stamp*

Механика прочности материалов решает два типа задач – определяет требования к материалам и их геометрическим характеристикам для того, чтобы изделия сопротивлялись эксплуатационным нагрузкам длительное время, и определяет значение нагрузок, которые приведут к гарантированному разрушению материалов. Для решения первой задачи посвящено множество работ, например [1-3]. Однако именно решение второго типа задач требуется для создания машин и оборудования для разрушения и утилизации железобетонных изделий.

Проектирование новых конструкций оборудования (оборудования для срезания свай, гидромолотов, бетоноломов и т. д.), так или иначе разрушающее железобетон, требует определения сил сопротивления резанию или разрушению. Учитывая, что железобетонное изделие является сложным композитным материалом, специально созданным для восприятия нагрузок, модель его разрушения при помощи машин различного типа может быть построена только с использованием конечно-элементного аппарата, например в среде ANSYS [4] или Abaqus [5]. Однако модель прочности бетона может быть описана совершенно различными законами. К таковым можно отнести третью или четвертую гипотезы прочности, модель критерия прочности С.Ф. Клованича [6], модель критерия прочности William-Warnke [7], Друкера–Прагера [8], Базанта [9], а также многочисленные модели, встроенные в существующие решатели.

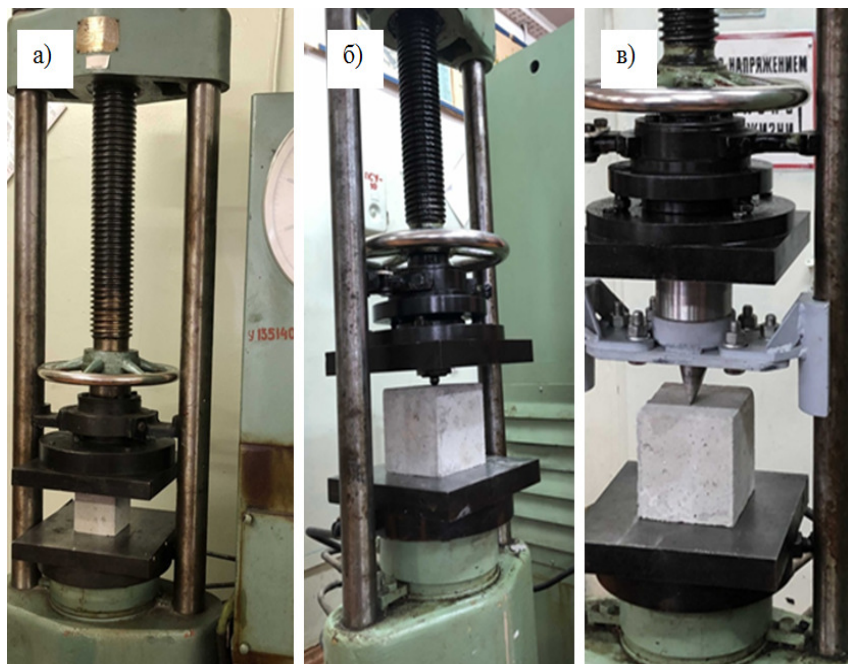


Рис. 1. Испытание стандартных образцов на прочность при одноосном сжатии (а) и на прочность при внедрении сферического (б) и клинового (в) штампов

Для определения подходящих моделей для решения задач создания нового оборудования и обоснования его параметров необходимо провести экспериментальные работы и сравнить полученные результаты с результатами численного моделирования. Задача верификации решалась путем исследования прочности четырех типов стандартных образцов бетона [10] кубической формы со сторонами 100x100x100 мм.

Отформованные образцы, которые набрали прочность в естественных условиях, были испытаны на прочность при одноосном сжатии (рис. 1, а). После этого производилось внедрение штампов со сферической (рис. 1, б) и клиновидной (рис. 1, в) поверхностями. Радиус сферического штампа соответствовал 8 мм, размеры клина следующие – длина кромки – 30 мм, угол заострения 30 градусов. Указанные штампы наиболее полно соответствуют разрушению режущими элементами указанных выше машин.

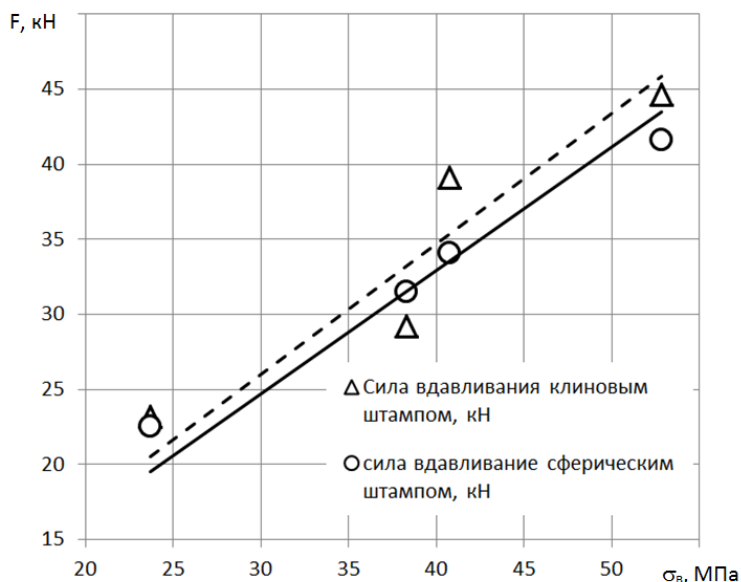


Рис. 2. График зависимости максимальных сил вдавливания сферического и цилиндрического штампов для образцов бетона различной прочности

Полученные результаты хорошо аппроксимируются линейными функциями (рис. 2):

- для сферического штампа:

$$F_c = 0,868 \cdot \sigma_b; \quad (1)$$

- для клинового штампа:

$$F_k = 0,8231 \cdot \sigma_B; \quad (2)$$

Коэффициенты достоверности для уравнения (1) - $R^2 = 0,862$, для уравнения (2) - $R^2 = 0,932$. Подобная сходимость вполне допустима для задач исследования прочностных показателей указанного материала.

Бетон, являясь матрицей для железобетонных конструкций, сам по себе является весьма неоднородным материалом. Его прочность меняется как в процессе изготовления изделий, так и в процессе их эксплуатации. Это накладывает необходимость расчета параметров машин и оборудования для разрушения железобетонных и бетонных изделий с достаточно высоким запасом по реализуемым силам. Однако, даже для выбора параметров оборудования с учетом необходимого запаса, на сегодняшний день достоверных методик расчета не существует. Данная работа является хорошей отправной точкой для создания такой методики. Дальнейшая работа будет направлена на верификацию различных моделей прочности бетона для решения задач данного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бенин А.В.* Деформирование и разрушение железобетона: аналитические, численные и экспериментальные исследования. СПб.: ПГУПС, 2006. 127 с.
2. *Байков В.Н.* Железобетонные конструкции / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. М.: Стройиздат, 1984. 728 с.
3. *Alvarez M.* Einfluss des Verbundverhaltens auf das Ferfjumungsfermogen von Stahlbeton: Zurich: Promotionarbeit, 1998. 192 p.
4. ANSYS release 14. Basic analisis guide. ANSIS Inc.
5. Abaqus Analysis User's Manual, Version 6.10.
6. *Клованич С.Ф.* Метод конечных элементов в расчетах пространственных железобетонных конструкций / С.Ф. Клованич, Д.И. Безушко. Одесса: Изд-во ОНМУ, 2009. 89 с.
7. *Willam K. J.* Constitutive model for the triaxial behavior of concrete / K.J. Warnke, E.P. Warnke // Seminar of concrete structures subjected to triaxial stresses: Dergamo: Italy. 1974. V. 19. May 17. 19. P. 3-11.
8. *Drucker D.C.* Soil mechanics and plastic analysis for limit design / D.C. Drucker, W. Prager. Quart. Appl. Math. 1952. No 2. P. 157–165.
9. *Bazant, Z.P.* Fracture mechanics of reinforced concrete / Z.P. Bazant, L. Cedolin // Journal of the engineering mechanics, ASCE. 1980. Vol. 106. P. 1287–1306.
10. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВАЛЬЦА ВИБРАЦИОННОГО КАТКА В СРЕДЕ AUTODESK INVENTOR

Г.С. Малов, Ю.Г. Попов

Научный руководитель – **Ю.Г. Попов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Моделирование вибрационного вальца как трехмассной системы. Для улучшения качества дорожного покрытия необходимо более детально представлять процесс уплотнения и, следовательно, провести ряд экспериментов. В данной статье рассматривается первоначальный этап экспериментов, а именно создание трехмассной реологической модели вибрационного вальца с помощью средств Autodesk Inventor и проведение динамического анализа. Проведенная работа в дальнейшем послужит основой для исследования колебаний вальца и углубленного анализа вибрационных уплотнителей.

Ключевые слова: Каток вибрационный, модель реологическая, динамическая модель

DYNAMIC ANALYSIS OF THE ROLLER OF A VIBRATING ROLLER IN THE AUTODESK INVENTOR ENVIRONMENT

G.S. Malov, Y.G. Popov

Scientific Supervisor - **Y.G. Popov**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Simulation of a vibrating roller as a three-mass system. To improve the quality of the road surface, it is necessary to present the compaction process in more detail and, consequently, conduct a number of experiments. This article discusses the initial stage of experiments, namely the creation of a three-mass rheological model of a vibrating roller using Autodesk Inventor tools and dynamic analysis. The work carried out in the future will serve as the basis for the study of the vibrations of the roller and an in-depth analysis of vibration seals.

Keywords: Vibrating roller, rheological model, dynamic model

В машиностроении, как известно, простых задач вообще не бывает. Но особую сложность представляют механизмы и системы, функционирующие при высоких частотах рабочих процессов или подвергающиеся воздействию больших сил.

Валец вибрационного катка в полной мере обладает обоими этими свойствами. Частота вибрации, в зависимости от типа уплотняемого материала в современных катках варьируется от 20 до 50 Гц [1], а вынуждающая сила достигает 750 кН [2].

Проектирование и расчет таких машин сопряжен с необходимостью учета множества взаимозависимых и непостоянных факторов, включая переходные процессы при включении и выключении вибрации; изменение характера вибрации при изменении жесткости уплотняемой поверхности; эффекты резонанса. Немаловажными задачами является обеспечение прочности и надежности подшипниковых узлов, испытывающих большие знакопеременные нагрузки, а также вопросы виброзащиты оператора и основных систем катка.

Обилие факторов, влияющих на работу машины, делает весьма сложной задачей как натурный, так и масштабный эксперимент [3]. Требуется сложное и высокоточное измерительное оборудование и учет множества неизвестных при планировании.

Вместе с тем, современные средства динамического моделирования позволяют с высокой степенью точности описать изменение во времени состояния системы. Ключевой задачей при этом является корректная формализация задачи, определение ключевых допущений и действующих факторов.

В данной работе рассматривается моделирование вибрационного вальца как трехмассной системы (рис. 1).

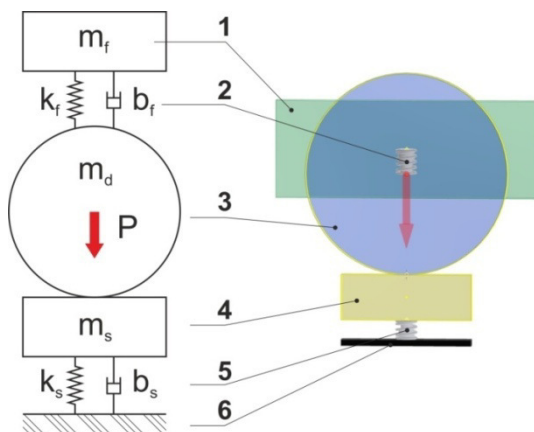


Рис. 1. Трехмассная реологическая модель (слева) и динамическая модель (справа) в среде Autodesk Inventor:

1 – масса, приходящаяся на раму вальца; 2 – упруго-вязкие свойства амортизаторов; 3 – вибровалец; 4 – присоединенная масса [4]; 5 – упруго-вязкие свойства грунта; 6 – неподвижное основание

Для начального этапа моделирования принята двухмерная динамическая модель вальца катка. Масса вальца принята 5,5 тонн, масса, приходящаяся на раму – также 5,5 тонн. Присоединенная масса грунта принята в размере 20% от массы вальца [4]. Упруго-вязкие свойства грунта и амортизаторов задавались силовым соединением «пружина/амортизатор» с соответствующими свойствами.

Вынуждающая сила принималась как функция времени (рис. 2), с амплитудой 230 кН и частотой колебаний – 30 Гц.

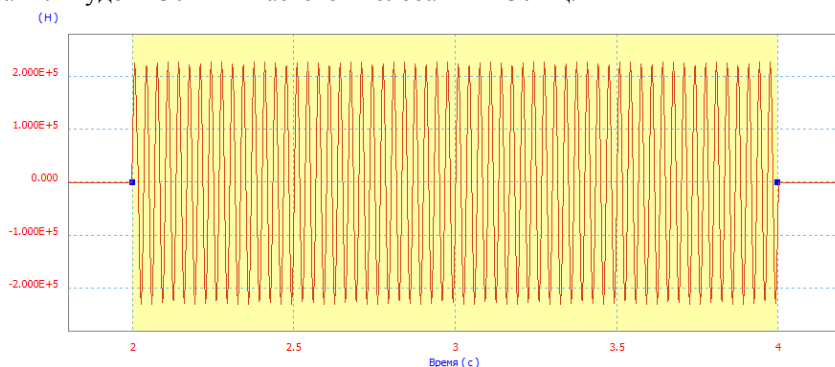


Рис. 2. Вынуждающая сила вальца, заданная с помощью устройства графического ввода

Вынуждающая сила включается со 2-й секунды моделирования и длится две секунды. Общая длительность моделирования составляет 6 с. Расчет состояния и параметров системы производится каждые 0,001с. Первые и последние две секунды моделирования выделены для переходных процессов: сжатие «пружин/амортизаторов» под весом составляющих модели в начале и завершение колебаний в конце.

На рис. 3 представлен график перемещения центра тяжести вибровальца в результате моделирования. В начальный момент времени центр тяжести находится на расстоянии 1275 мм от нулевой плоскости: 150 мм (начальная высота «пружины/амортизатора» грунта) + 350 мм (высота модели присоединенной массы) + 775 мм (радиус вальца). Далее происходит сжатие «пружины/амортизатора» грунта под действием силы тяжести вальца и добавляющейся чуть позже рамы, потом колебания вальца под действием вынуждающей силы и затухание колебаний в конце моделирования. Пик в начале колебаний объясняется тем, что вынуждающая сила возрастает от 0 до номинального значения за 0,0083 с. (четверть периода колебаний), то есть практически мгновенно. Также мгновенно вынуждающая сила и выключается.

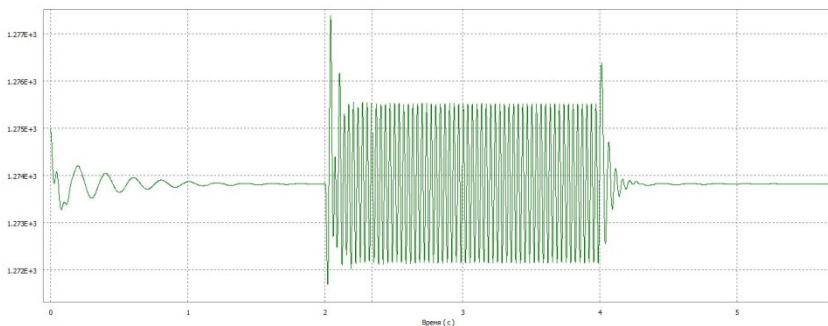


Рис. 3. Перемещения центра вальца относительно нулевой плоскости

В дальнейшем для более точного моделирования поведения системы будет введен период разгона дебалансного вала от нуля до номинальной частоты вращения и, соответственно, до номинального действия вынуждающей силы.

В дальнейшем динамическая модель будет использоваться для исследования режимов колебаний вальца (отрывное/безотрывное) с определением критических значений жесткости и вязкости грунта и амортизаторов вальца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тюремнов И.С.* Статистический анализ технических характеристик грунтовых вибрационных катков / И.С. Тюремнов, А.А. Игнатъев, И.С. Филатов // Вестник Тихоокеан. гос. ун-та. 2014. №. 3. С. 81-88.
2. History // Bomag.com. URL: <https://www.bomag.com/ww-en/about/about-bomag/history/> (дата обращения: 18.03.2022).
3. Dynamic characteristics of the vibratory roller test-bed vibration isolation system: simulation and experiment / Li J. et al. // Journal of Terramechanics. 2014. Т. 56. С. 139-156.
4. *Тюремнов И.С.* К вопросу обоснования значения присоединённой массы грунта при реологическом моделировании процесса уплотнения грунта вибрационным катком / И.С. Тюремнов, А.С. Морев, Д.В. Фурманов // Проблемы машиноведения. 2019. С. 215-223.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УСТАНОВКИ ВИНТОВЫХ СВАЙ

Д.А. Мамадризов, И.С. Тюремнов

Научный руководитель – **И.С. Тюремнов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается оборудование для установки винтовых свай. В основе принципа работы устройства лежит вращение элемента фундамента с постепенным погружением в грунт. Конструкция базового узла в сочетании с его подвижным креплением к раме позволяет реализовать необходимые для установки винтовых свай в грунт движения.

Ключевые слова: оборудование для погружения винтовых свай, завинчивание свай, вращатель гидравлический

EQUIPMENT FOR INSTALLATION OF SCREW PILES

I.S. Tyuremnov, D.A. Mamadrizoev

Scientific Supervisor – **I.S. Tyuremnov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The equipment for installation of screw piles is considered. The principle of operation of the device is based on the rotation of the foundation element with gradual immersion in the ground. The design of the base unit in combination with its movable attachment to the frame makes it possible to realize the movements necessary for the installation of screw piles in the ground.

Keywords: equipment for sinking screw piles, screwing piles, hydraulic rotator

Винтовые сваи широко применяются в строительстве при возведении малоэтажных зданий и сооружений. В процессе проектирования оборудования для установки винтовых свай (сваекрута) особое внимание было уделено прицепным и разборным устройствам [1-4]. Для начала необходимо было определить вид оборудования. В этой связи ключевую роль играют грунтовые условия, с оглядкой на которые формируют па-

раметры сваи и глубину её погружения [5]. Оборудование разрабатывалось под грунтовые и климатические условия Ярославской области. Определившись с грунтовыми условиями и рассчитав крутящий момент, необходимый для погружения винтовой сваи, был выбран гидравлический вращатель с необходимыми рабочими характеристиками. С этого момента направление проектирования сместилось в сторону формирования внешнего облика оборудования. Типоразмер приводного узла, диаметр сваи и глубина её погружения явились краевыми параметрами для разработки конструкции сваекрута. Логика основных технических решений и исполнение ряда узлов базировались на обобщении и анализе информации о работе прицепных и разборных устройств обозначенного профиля, которые представлены на рынке строительной техники и эксплуатируются в настоящий момент времени [1-4, 6].

Итогом работы является проект оборудования для установки винтовых свай (рис. 1) диаметром 133 мм на максимальную глубину в 1,7 метра. К преимуществам данного устройства можно отнести: возможность погружения винтовых свай диаметрами 51, 57, 76, 89, 108, 133 мм; разборную конструкцию; допустимость транспортировки сваекрута с помощью внедорожника или малотоннажного автомобиля.

Сваекрут (см. рис. 1) состоит из: тележки 1, стойки 2, правого 3 и левого 4 упоров. Стойка 2 является несущим узлом. Она состоит из двух швеллеров, сваренных между собой. Полки швеллеров раскреплены рёбрами. К стойке крепится колёсная балка, имеющая два варианта установки колёс по высоте: для транспортировки оборудования и для завинчивания свай. Для выравнивания оборудования на неровной поверхности применяются три опоры свинтовыми упорами. В процессе монтажа упоры одеваются на участки квадратной трубы, приваренные к стойке, и фиксируются болтами. Также предусмотрена возможность установки анкерных стержней на опоры для предотвращения сдвига оборудования относительно грунта в процессе работы.

Задняя опора устанавливается только после установки боковых опор и перевода оборудования в вертикальное положение. Для её крепления также предусмотрен специальный кронштейн. Распорка необходима для придания жёсткости задней опоре. Она является съёмной и устанавливается после монтажа задней опоры.

За подъём и опускание тележки 1 с гидравлическим вращателем отвечает ручная барабанная лебёдка 5 (см. рис. 1). А траекторию каната лебёдки формирует направляющий узел, состоящий из двух блоков, закрепленных на верхней части стойки.

В задней части стойки приварен поручень для поворота и перемещения сваекрута. Он выполнен в виде круглой трубы.

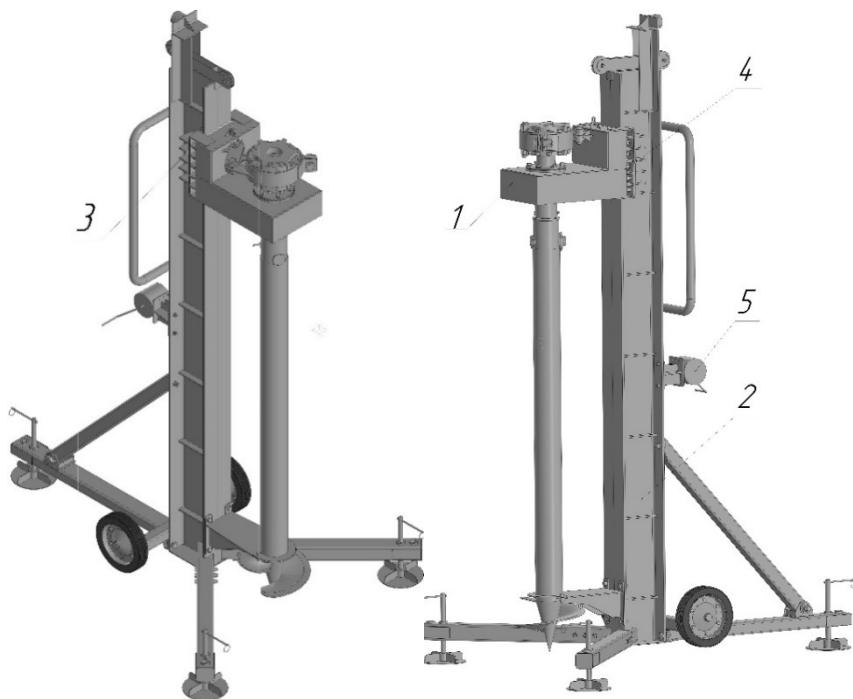


Рис. 1. 3D-модель оборудования для установки винтовых свай

Приводным элементом оборудования для установки винтовых свай является гидравлический вращатель роторно-планетарного типа. Он установлен на подвижной тележке 1. Вал вращателя опирается на два роликовых радиальных подшипника. Они зафиксированы от осевого смещения ступенью с одной стороны и стопорным кольцом с другой, а между ними стоит распорное кольцо. Подшипники установлены в стакане. Наружные кольца подшипников упираются в крышки стакана. С одной стороны, такая компоновка узла вращения обеспечивает жёсткое горизонтальное положение вала вращателя, а с другой стороны, даёт возможность принудительного погружения сваи. Если веса тележки недостаточно для формирования необходимой для установки сваи осевой силы, то её можно увеличить за счёт приложения дополнительного усилия непосредственно к тележке (например, посредством установки съёмных поручней на тележку). В таком случае усилия, приложенные к элементам каркаса, через стакан и подшипники передадутся непосредственно на

вращающийся вал. Крепления вращателя при этом не получит никакой дополнительной нагрузки.

Таким образом, разработана конструкция оборудования для завинчивания винтовых свай. Основные проектные решения обоснованы расчетами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. TORSION. URL: <https://www.svaekrut.com/standard-torsion> (дата обращения: 15.10.2021 г.)
2. WINTTEK. URL: <http://winttek.ru/svaekrut> (дата обращения: 15.10.2021 г.)
3. DRILLINGSHOP. URL: https://drillingshop.ru/index/svaekruty_ehlektricheskie_i_gidravlicheskie/0-44 (дата обращения: 15.10.2021 г.)
4. ОДО «ТЕХГИДРОИМПОРТ». URL: <http://tehgidroimp.by/yamobur> (дата обращения: 15.10.2021 г.)
5. Рекомендации по определению крутящего момента и осевого усилия при погружение винтовых свай в грунты: Р 462-82 : ВНИИСТ. М.: Изд-во ВНИИСТа, 1983. 49 с.
6. ООО «Феллер». URL: <https://feller.pro/svaekrut-vityaz-5000.html> (дата обращения: 15.10.2021 г.)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕСТА НАКЛЕЙКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ТЕНЗООСИ НА ЕЁ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

А.В. Михалев, А.Н. Назаров, С.Д. Иванов

Научный руководитель – **С.Д. Иванов**, канд. техн. наук.

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Проведено экспериментальное исследование тензометрических осей крановых весов. Определены их эксплуатационные характеристики. Показана необходимость корректировки чувствительности для оценки конструктивных особенностей.

***Ключевые слова:** крановые весы, тензометрическая ось, чувствительность тензодатчика*

THE IMPACT OF THE STRAIN GAUGE LOCATION ON THE LOAD PINON IT'S PERFORMANCE ASSESSMENT

A.V. Mikhalev, A.N. Nazarov, S.D. Ivanov

Scientific Supervisor – **S.D. Ivanov**, Candidate of Technical Sciences

Bauman Moscow State Technical University

An experimental study of strain gauge axes of crane scales has been carried out. Their operational characteristics have been determined. The necessity of sensitivity correction for estimation of design features is shown.

***Keywords:** crane scales, load pin, sensitivity of the load cell*

Известны различные исполнения крановых весов [1]. Основным элементом, определяющим качество их работы, является тензодатчик. В крановых весах применяются S-образные тензодатчики, тензодатчики растяжения и тензометрические оси. Преимущество крановых весов с тензометрической осью заключается в меньшем вертикальном габарите и в более технологичной конструкции.

Целью работы является исследование влияния конструктивных особенностей тензометрической оси на эксплуатационные характеристики крановых весов.

Качество работы тензометрического датчика нагрузки определяют две основные характеристики: чувствительность и повторяемость. Чувствительность – коэффициент пропорциональности между выходным сигналом тензодатчика и приводящей к нему деформацией. Повторяемость – способность датчика генерировать близкие друг к другу сигналы для одной и той же нагрузки, прикладываемой несколько раз практически одним и тем же способом при достаточно постоянных условиях испытаний [2].

В данной статье экспериментально исследовалось влияние места наклейки чувствительного элемента на эксплуатационные характеристики тензометрической оси.

Для проведения экспериментов использованы: тензометрическая ось производства ЗАО «ИТЦ «КРОС» [3] с наклейкой тензорезистора на цилиндрической поверхности сквозного отверстия (рис. 1, а) и тензоось производства ООО «СмартВес» [4] с наклейкой тензорезистора на плоской стенке, расположенной между двумя цилиндрическими глухими отверстиями (рис. 1, б).

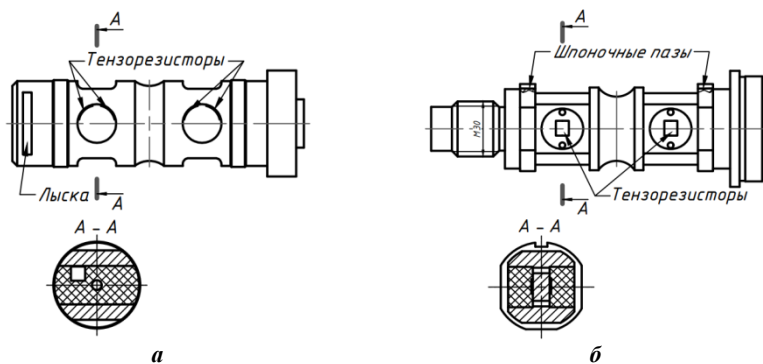


Рис. 1. Образцы ЗАО «ИТЦ «КРОС» (а) и ООО «СмартВес» (б)

Производили подъем груза массой 2 т при помощи мостового крана КМГ-201, расположенного в лаборатории кафедры. Для исключения влияния отличия алгоритмов обработки различных производителей осуществляли считывание исходного аналогового сигнала датчиков одной платой сбора данных. С целью снижения влияния колебательного процесса в динамической системе крана после отрыва груза выдерживали паузу 30 с, за которую успевают затухнуть высокоамплитудные колебания. После паузы платой сбора данных с частотой опроса аналого-цифрового преобразователя (АЦП) 250 Гц записываются показания тензодатчика в течение 6,8 с. Для каждой тензооси производили по 10 записей без нагрузки и с нагрузкой 2 т. За измерение массы груза принимали

значение, полученное методом непосредственного осреднения записанных кодов АЦП.

Результаты экспериментов представлены на рис. 2 и 3.

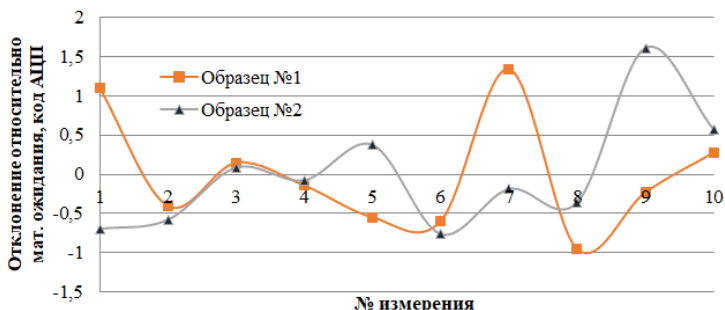


Рис. 2. Повторяемость показаний крановых весов без нагрузки

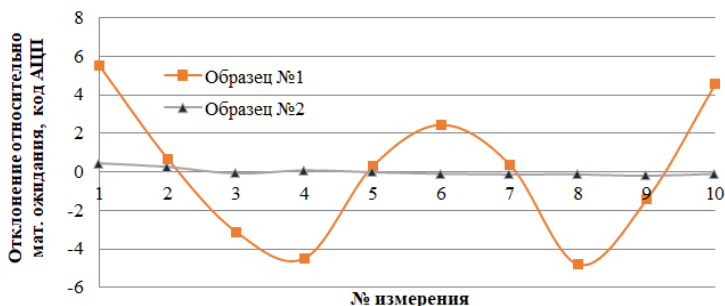


Рис. 3. Повторяемость показаний крановых весов при нагрузке 2 т

Повторяемость для исследуемых датчиков при отсутствии нагрузки составила 2,3 и 2,4 кода АЦП соответственно. Повторяемость измерений массы груза 2 т составила 10,3 и 0,6 кода АЦП соответственно. При этом размах сигнала датчиков, соответствующий изменению нагрузки на 2 т, составил 1555 и 860 кодов АЦП. Таким образом, первый образец обладает большей чувствительностью, а второй большей повторяемостью.

Повторяемость не зависит от способа наклейки датчика. Чувствительность же, напротив, определяется данной конструктивной особенностью, так как зависит от напряженно-деформированного состояния в области наклейки тензорезистора. С этим связано то, что непосредственное сравнение выходных сигналов тензометрических датчиков не позволит оценить конструктивные особенности их исполнения, так как разница в

повторяемости указывает на различное преобразование сигналов в схеме тензодатчика. Это объясняется тем, что набор и характеристики электронных компонентов первичного звена обработки определяются производителями датчиков.

Для выявления конструкции датчика, обеспечивающего более качественный сигнал, произвели корректировку чувствительности первого образца таким образом, чтобы повторяемость у обоих образцов стала одинаковой. В результате при нагрузке 2 т и повторяемости 0,6 кодов АЦП чувствительность образцов составила 98 и 430 кодов АЦП / т соответственно.

Разница в чувствительности в 4,4 раза объясняется двумя факторами. Форма поверхности наклейки тензомоста первого образца – цилиндрическая, что обуславливает предварительную его деформацию и уменьшение рабочего диапазона. А наклейка тензомоста на стенку второго образца позволяет достичь большего уровня напряжений в зоне наклейки, так как данный конструктивный элемент не предназначен для обеспечения прочности оси, и, следовательно, коэффициент запаса его меньше, чем у оси в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аникандров А.А.* Основные тенденции развития подвесных крановых весов / А. А. Аникандров, Ю. В. Красников, А. М. Степанов // Приборы. 2014. № 1(163). С. 12-16.
2. ГОСТ OIML R-76-1-2011. Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания. Дата введения 01.07.2013.
3. Каталог тензоосей. ЗАО «Инженерно-технический центр «КРОС». 2017. С. 16. URL: https://itc-kros.ru/files/catalog_ot.pdf (дата обращения 16.03.2022)
4. Весы электронные крановые ВЭК. Паспорт. Руководство по эксплуатации. ООО «СмартВес». С. 12. URL: <https://www.smartves.ru/upload/iblock/0a2/0a233bda0c34ad63e62e473990e3ab64.pdf> (дата обращения 16.03.2022)

УДК 005.8

ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИФТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

К.М. Пискун, С.Д. Иванов

Научный руководитель – **С. Д. Иванов**, канд. техн. наук, доцент

МГТУ им. Н. Э. Баумана

На основе анализа организационной и функциональной структуры российского офиса международной компании-производителя лифтового оборудования предложен метод повышения эффективности и качества работ по техническому сопровождению продуктовых линеек, основанный на внедрении электронного документооборота.

Ключевые слова: система администрирования, электронный документооборот, сопровождение эксплуатации лифтов

INTRODUCTION OF ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT AT THE STAGE OF OPERATION OF ELEVATOR EQUIPMENT

K.M. Piskun, S.D. Ivanov

Scientific Supervisor – **S.D. Ivanov**, Candidate of Technical Sciences

Bauman Moscow State Technical University

Based on the analysis of organizational and functional structure of the Russian office of an international company-manufacturer of elevator equipment proposed a method to improve the efficiency and quality of work on technical support of product lines, based on the introduction of electronic document management.

Keywords: administration system, electronic document management, support of elevator operation

Актуальной задачей деятельности компаний, поставляющих лифты на российский рынок, является своевременное и качественное реагирование на выявляемые технические недостатки и принятие мер по недопущению возникновения подобных дефектов впредь [1]. В крупной международной компании задачи технического сопровождения продуктовых

линеек на этапе эксплуатации возложены на региональные подразделения, осуществляющие свою деятельность под общим руководством головного офиса [2]. Региональные подразделения имеют собственную организационную и функциональную структуру в соответствии со спецификой конкретного рынка, к которой относятся: объем технических средств, поставляемых и эксплуатируемых на рынке; особенности национального законодательства; этажность и назначение зданий, в которых монтируется оборудование; специфические требования заказчиков; географические особенности и т.д.

Фактически, деятельность национального подразделения по сопровождению процесса эксплуатации лифтового оборудования сводится к реализации цепочки организационно-технических мероприятий от обнаружения дефекта до его полного устранения. При этом сами дефекты (технические недостатки) могут иметь логистический, производственный или технологический характер и могут быть обнаружены на любой стадии – монтажа, наладки, испытаний, использования или технического обслуживания оборудования.

В соответствии с современными представлениями об организации деятельности рассматриваемых предприятий с точки зрения повышения эффективности и обеспечения качества их работ [3], рациональным решением поставленных задач является внедрение электронного документооборота (ЭДО) [4], основанного на следующих принципах: охват всех участников процесса; предоставление полной, своевременной и актуальной информации; простота поиска документа; возможность одновременного выполнения операций; наличие развитой системы отчетности.

Предложенный в работе метод базируется на анализе сложившейся организационно-функциональной структуры подразделения и, на первом этапе, не ставит целей оптимизации производственного процесса, а лишь обеспечивает повышение его эффективности и качества путем внедрения ЭДО на всех этапах проведения работ с учетом задач, функций и компетенций конкретных исполнителей.

Реализация метода предусматривает последовательное выполнение следующего алгоритма действий:

1. Рассмотрение сложившейся организационной структуры предприятия с выделением входящих в его состав подразделений;
2. Рассмотрение функций, выполняемых предприятием при техническом сопровождении продукции (рис. 1);
3. Соотнесение организационной структуры с перечнем выполняемых функций с целью исключения структурных подразделений, не связанных непосредственно с техническим процессом (рис. 2);
4. Установление функциональных связей между подразделениями, составляющими основу производственного процесса;

Отдел инспекций	Бухгалтерия	Группа переводов технологий	Идентификация дефекта	Доведение первичной информации	Планирование временных, материальных и трудовых затрат
Отдел монтажа	Отдел сервиса	Руководство по монтажу, сервису и операционной деятельности	Определение порядка передачи информации	Анализ проблемы	Идентификация затронутых единиц
Департамент по правовым вопросам и комплаенс	Отдел закупок	Департамент по управлению крупными проектами	Выработка методов и способов устранения дефекта	Определение затронутых единиц	Контроль качества
Администрация	Технический департамент	Отдел по продажам нового оборудования	Информирование владельцев единиц вне портфеля	Адаптация, перевод	Финансовый контроль
Отдел по продажам сервиса и модернизации	Отдел охраны труда	Отдел финансового контроля	Выполнение работ по устранению проблемы	Оформление результатов	Формирование статистики
Главный офис, Эбикон	Транспортный отдел	Отдел технического обучения	Формирование отчетности	Компенсация расходов	Обеспечение ресурсами
Отдел информационных технологий	Отдел складирования и доставки запасных частей	Отдел прикладной инженерии	Устранение собственными силами	Классификация проблемы	Доведение информации до структурных подразделений
Управление по персоналу	Отдел логистики, таможенного оформления и рекламаций			Преобразование, оформление информации	Обеспечение материальными ресурсами

Рис. 1. Перечень подразделений и функций предприятия

Главный офис, Эбикон	Технический департамент	Отдел инспекций	Отдел логистики, таможенного оформления и рекламаций	Отдел складирования и доставки запасных частей
Выработка методов и способов устранения дефекта, определение информации затронутых единиц, планирование временных, материальных и трудовых затрат, доведение информации до структурных подразделений, компенсация расходов	Определение порядка передачи информации, анализ проблемы, классификация проблемы, информирование владельцев единиц вне портфеля, адаптация, перевод, идентификация затронутых единиц, обеспечение ресурсами, формирование статистики, формирование отчетности	Контроль качества	Обеспечение ресурсами	Обеспечение ресурсами
Отдел финансового контроля		Отдел монтажа	Отдел сервиса	Руководство по монтажу, сервису и операционной деятельности
Финансовый контроль		Идентификация дефекта, устранение собственными силами, доведение первичной информации, выполнение работ по устранению проблем	Идентификация дефекта, устранение собственными силами, доведение первичной информации, выполнение работ по устранению проблем	Преобразование, оформление информации, доведение первичной информации, оформление результатов

Рис. 2. Определение состава производственного процесса

5. Упорядочение схемы в соответствии с порядком осуществления технологических операций (рис. 3);

Полученную итоговую схему (см. рис. 3) можно рассматривать как схему организации ЭДО внутри российского филиала, где в каждой ячейке схемы должен формироваться электронный документ, а каждая стрелка является маршрутом его передачи.

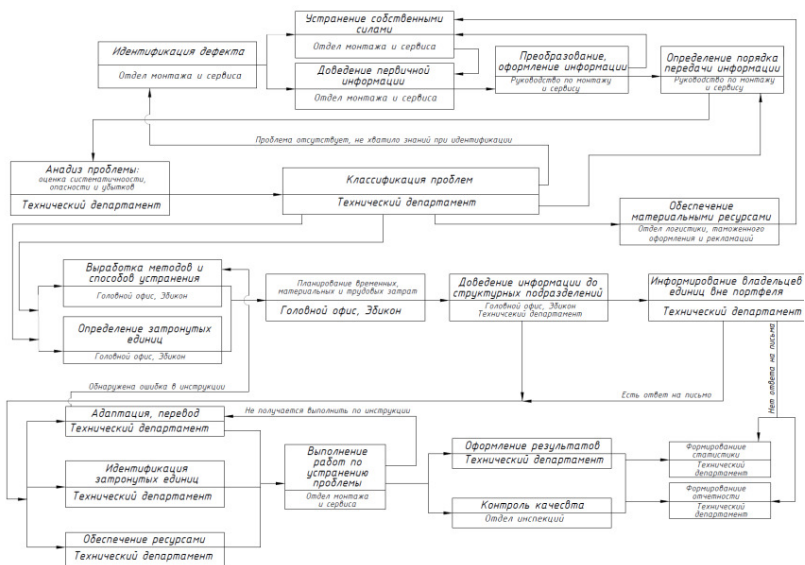


Рис. 3. Организационно-функциональная схема

Дальнейшей задачей работ является разработка стандартных форм документов (шаблонов), учитывающих требования к полноте и актуальности информации, необходимой для осуществления каждой из производственных операций, а также создание программного обеспечения, обеспечивающего автоматическую передачу информации в соответствии с определенными данной схемой маршрутами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пискун К.М. Анализ системы технического администрирования продуктовых линеек пассажирских и грузопассажирских лифтов на этапе эксплуатации // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. СХ междунар. студ. науч.-практ. конф. № 2(109).
2. Андреева В.И. Делопроизводство. Требования к документообороту фирмы (на основе ГОСТов РФ). Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Бизнес-школа Интел-Синтез, 1995. 222 с.
3. Иванова Е.В. Этапы выбора системы электронного документооборота / Е.В. Иванова, Е.В. Дашкова // Современные технологии документооборота в бизнесе, производстве и управлении: сб. ст. XV Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2015. С. 24-30.
4. Сиганова Т.В. Делопроизводство и Документооборот. М., 2004. 36 с.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ШАССИ МАЛОГАБАРИТНОЙ КОММУНАЛЬНОЙ МАШИНЫ

И.А. Подстрешный, И.С. Тюремнов

Научный руководитель – **И.С. Тюремнов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается многофункциональное шасси коммунальных машин, которое обеспечивает наиболее эффективную работу при меньших трудо- и энергозатратах.

Ключевые слова: *Коммунальные машины, многофункциональное шасси коммунальных машин, малогабаритные машины*

MULTIFUNCTIONAL CHASSIS OF A SMALL UTILITY VEHICLE

I.A. Podstreshny, I.S. Tyuremnov

Scientific Supervisor - **I.S. Tyuremnov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

A multifunctional chassis of utility vehicles is considered, which provides the most efficient operation with less labor and energy consumption.

Keywords: *Utility vehicles, multifunctional chassis of utility vehicles, small-sized machines*

Для содержания крупных городских магистралей необходима уборочная техника, обладающая высокой производительностью, чтобы максимально в короткие сроки выполнять все уборочные мероприятия и не создавать дополнительных проблем движению транспорта. В условиях узких улиц и внутриквартальных проездов незаменимы малогабаритные коммунальные машины [1].

В связи с этим необходимо, чтобы коммунальные машины могли выполнять как можно больше функций, тем самым это ускорит выполнение необходимых задач, уменьшит затраты на закупку и обслуживание техники. Поэтому была поставлена цель: разработать и спроектировать многофункциональное шасси для коммунальных машин (рис. 1) [2].

Колеса 2 каждого борта данного шасси (рис. 2) соединены посредством цепной передачи, которая расположена в корпусе 5. Крутящий мо-

мент на каждый борт передается на задние колеса от гидромоторов 6 через муфты. Бортовой поворот или разворот машины происходит за счет различной скорости вращения колес правого и левого борта, что улучшает маневренность машины.

Направление и скорость вращения каждого гидромотора изменяется при помощи золотников гидрораспределителя. Гидросистема машины обеспечивает возможность независимого регулирования скорости и направления вращения гидромотора каждого борта и содержит три независимых контура.

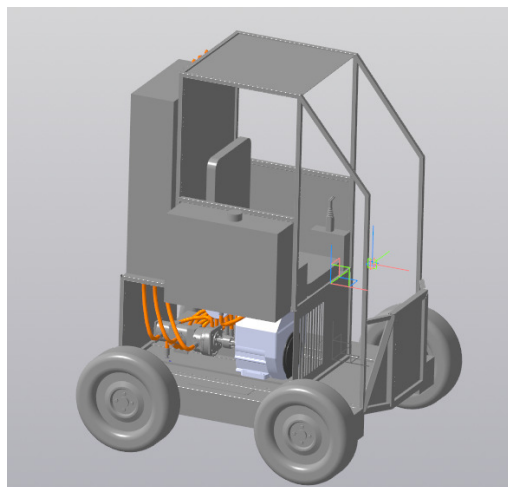


Рис. 1. Многофункциональное шасси малогабаритной коммунальной машины

Первый и второй контур обеспечивают работу колес правого и левого борта машины. Третий контур служит для обеспечения функционирования рабочего оборудования, которое может устанавливаться на передний или задний щиты. Рабочая жидкость к каждому распределителю подводится от соответствующего насоса. Насосы 3 шестеренного типа установлены тандемно и приводятся во вращение от вала двигателя 15 через муфту 13. Регулирование работы скорости рабочих органов каждого контура происходит за счет распределителя 14 с тросовым управлением от джойстиков 8, установленных в кабине оператора.

На раме 1 установлены баки 3 и 10. Объем топливного бака 3 составляет 65 литров и обеспечивает работу машины в течение полной смены. Объем гидробака 10 составляет 151,5 литров и обеспечивает требуемый тепловой режим гидропривода.

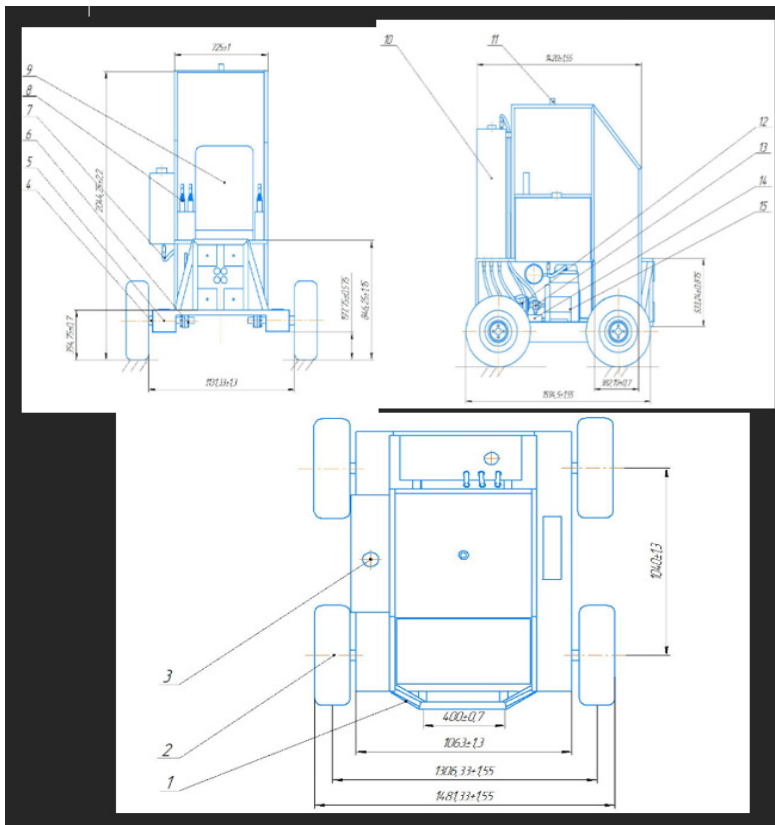


Рис. 2. Вид спереди, вид сбоку, вид сверху спроектированной многофункциональной малогабаритной коммунальной машины

Спереди и сзади на щитах установлено по четыре кронштейна для присоединения рабочего оборудования к раме. Также в центре каждого щита имеются четыре быстроразъемных соединения для подключения рабочего оборудования к соответствующему контуру гидросистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виды коммунальной техники. URL: <http://www.cdminfo.ru/spetstechnika/kommunalnaya-tehnika/index.html> (дата обращения 12.03.2022).
2. Доценко А.И. Коммунальные машины и оборудование. М.: Архитектура-С, 2005. 344 с.

КЛАССИФИКАЦИЯ СОРТИРОВОЧНЫХ КОВШЕЙ ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА

И.А. Пятунин, Н.Е. Тарасова

Научный руководитель – **Н.Е. Тарасова**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются различные конструкции сортировочных ковшей одноковшового экскаватора; классификация по принципу действия.

***Ключевые слова:** одноковшовый гидравлический экскаватор, ковш, дробильный, сортировочный, просеивающий, навесное оборудование*

CLASSIFICATION OF SCREENING BUCKETS OF A SINGLE BUCKET EXCAVATOR

I.A. Pyatunin, N.E. Tarasova

Scientific Supervisor – **N.E Tarasova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Various designs of sorting buckets of a single-bucket excavator are considered, classification according to the principle of action.

***Keywords:** single-bucket hydraulic excavator, bucket, crushing, sorting, screening, attachments*

Рабочий орган одноковшового экскаватора сортировочный ковш, широко используется в различных сферах жизни человека. Данные ковши позволяют осуществить не только выемку грунта, но и переработку материала прямо на месте, без необходимости его транспортировки и утилизации, а также без привлечения дополнительной техники, что позволяет сократить расходы на производство работ.

Сортировочные ковши одноковшового гидравлического экскаватора можно разделить на три основные группы (рис. 1).



Рис. 1. Основные группы сортировочных ковшей одноковшового гидравлического экскаватора

К первой группе относятся ковши с определенным набором отверстий, диаметр которых зависит от достигаемой фракции просеиваемого материала. Просеивание, в данном случае, осуществляется под собственным весом материала, без какого-либо динамического возбудителя (рис. 2).



Рис. 2. Сортировочный ковш статического действия [1]



Рис. 3. Сортировочно-просеивающий ковш динамического действия [2]

Сортировочный ковш может работать на площадке, где до этого был раздроблен материал. Данный вид оборудования позволяет отделить грунт от строительных отходов, бетона и др. материалов. Недостатком данного ковша является относительно невысокая производительность, так как материал проходит через решетки только под действием собственного веса.

Ко второй группе относятся ковши, просеивание в которых осуществляется помощью какого-либо возбудителя, например ротора или вибровозбудителя. Они используются при работе с песком, речным камнем,

землей и др. материалами. Сортировка происходит за счет ротационного движения металлической корзины. Регулируемые лезвия могут быть заменены в зависимости от применения. Данный вид ковшей устанавливается на экскаваторы и фронтальные погрузчики (рис. 3).

Подобные ковши, в отличие от сортировочных статического действия, имеют более высокую эффективность просеивания. Следовательно, такие ковши используют при более ответственных операциях. Например, после проведения вскрышных работ, очень важно просеять вал вскрыши для отделения грунта, который понадобится при рекультивации. Данный ковш отлично подойдет для такого рода целей. Для того чтобы отделить почву от камней, корней, растительности, остатков мелиорационных труб. Также такой ковш может применяться на горно-обогатительных комбинатах при сортировке сырья перед отгрузкой в автомобильный или железнодорожный транспорт, очистки песка, пляжей от мусора, сортировки щепы и т.д.

К третьей группе относятся ковши, сортировка и просеивание в которых осуществляется в процессе или после дробления. **Ковши-дробилки** используются для дробления твердых материалов: железобетона, строительного мусора, гравия, горных пород. Они снабжены щековым или роторным механизмом дробления. Выходное отверстие регулируется специальными плитами, что позволяет получать на выходе материал различной фракции (рис. 4).

Дробильные ковши предназначены преимущественно для установки на экскаваторы от 8 тонн. Щеки – наиболее изнашиваемая часть – можно менять несколько раз местами до полного их износа, после этого достаточно поставить новую пару. Нижняя щека неподвижна, дробление осуществляется за счёт поступательного движения верхней, монтируется магнит для сбора арматуры после дробления.



Рис. 4. Сортировочно-дробильный ковш [1]

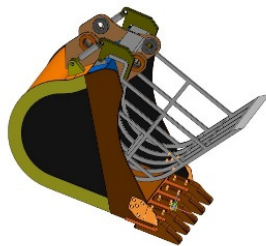


Рис. 5. Сортировочный ковш с фракционной решеткой

Проанализировав имеющиеся конструкции сортировочных ковшей, был спроектирован сортировочный ковш с внутренней фракционной решеткой, соединенной шарнирно, имеющий два гидроцилиндра, которые при задвигании штока гидроцилиндра обеспечивают открытие внутренней решетки, тем самым удерживается крупногабаритный материал, в то время как из сплошного ковша отсортировывается сыпучий материал (рис. 5).

Преимуществом данного ковша является его универсальность – один из главных технико-эксплуатационных показателей машины, так как с его помощью можно осуществлять не только сортировку сырья, но и производить земляные работы, когда решетка просеивателя находится внутри сплошного ковша.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gidro-Mix. Просеивающие ковши. URL: <https://gidro-mix.ru/proseivayushhie-kovshi-mb/>
2. Tokfrez. Ковш Сортировочный. URL: <https://tokfrezrus.ru/katalog/kovshi/kovsh-sortirovochnyy-dlya-ekskavatora-pogruzchika-i-mini-ekskavatora/>

РЕЖИМЫ ВИБРАЦИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Г.С. Скосарев, С.А. Лямина, А.А. Шуринов

Научный руководитель – **Н.С. Любимый**

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

В статье рассмотрен анализ вибраций технологических систем. В результате этого выявлены основные плюсы и минусы данных установок. Решение выявленных плюсов будет рассматриваться и воплощаться в политику предприятия и организации труда.

***Ключевые слова:** условия труда, способы применения, система организации труда*

VIBRATION MODES IN VARIOUS TECHNOLOGICAL PROCESSES

G.S. Skosarev, S.A. Lyamina, A.A. Shurinov

Scientific Supervisor – **N.S. Lyubimy**

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University

The article considers the analysis of vibrations of technological systems. As a result, the main pros and cons of these installations were identified. The solution of the identified advantages will be considered and embodied in the policy of the enterprise and labor organization.

***Keywords:** working conditions, methods of application, labor organization system*

Вибрация – это механические колебания тел. При диагностике вибраций детально рассматриваются параметры, такие как: виброскорость, вибросмещение, виброускорение.

На сегодняшний день существует много различных систем виброуплотнения материала.

В литьевом виброформовании периодическое воздействие прикладывается в мундштуке или в специальной приставке, установленной между пластикационным цилиндром и мундштуком, а также в литьевой форме и в пластикационном цилиндре.

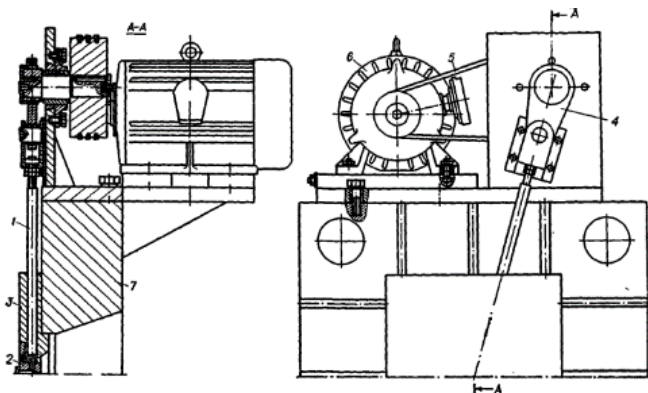


Рис. 1. Конструкция литейной формы с вибропоршнем, введенный в литниковую втулку:

- 1 – вибропоршень; 2 – литниковая втулка; 3 – форма;
 4 – эксцентриковый вибратор; 5 – клиноременная передача;
 6 – электродвигатель; 7 – неподвижная плита литейной машины

Преимуществом данной компоновки (рис. 1) является более эффективная передача колебаний в оформляющую полость формы, так как исключается затухание вибрационных импульсов в канале мундштука.

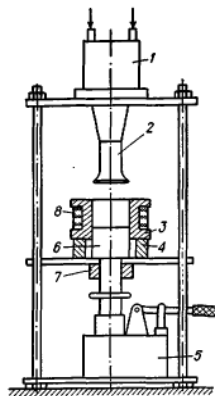
Чтобы исключить затухание колебаний в литниковой системе формы, можно вибропоршень ввести непосредственно в полость формы.

В ультразвуковом вибропрессовании достигается более равномерный нагрев формируемого изделия, повышается текучесть и снижается внешнее трение перерабатываемого материала.

На устройстве (рис. 2) формование осуществляется следующим образом: в термостатированную форму закладывается холодная заготовка, далее посредством гидроцилиндра создается давление прессования при одновременном озвучивании резиновой смеси через излучатель, связанный с генератором ультразвука.

Рис. 2. Установка для ультразвукового прессования полимерных материалов:

- 1 – магнестрикционный преобразователь; 2 – сменный формирующий инструмент; 3 – матрица пресс формы; 4 – ограничительное кольцо; 5 – гидравлический пресс; 6 – нижний пуансон; 7 – установочная втулка; 8 – электронагреватели



При наложении ультразвукового воздействия с амплитудой 12–15 мкм уменьшается давление, необходимое для ведения процесса, увеличивается на 10-15% объемная скорость заполнения формы и скорость вулканизации, увеличивается производительность оборудования.

Таким образом, на основе анализа, можно сделать вывод, что каждая из рассмотренных установок хороша по-своему. Исходя из того, что требуется изготовить и в каких условиях будет выбираться соответствующая установка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Басов Н.И.* Виброформование полимеров / Н.И. Басов, С.А. Любартович, В.А. Любартович. Л.: Химия, 1979. 160 с.
2. *Кирилов И.В.* Возможности повышения эффективности работы машин непрерывного безопалубочновиброформования / И.В. Кирилов, С.И. Ханин // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: сб. Белгород: Белгород. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова, 2016. С. 2155-2159.
3. *Еремин А.В.* Направление совершенствования машин непрерывного виброформования / А.В. Еремин, С.И. Ханин // Интерстроймех-2015: материалы междунар. науч.-техн. конф. Казань: Казанский гос. арх.-строит. ун-т, 2015. С. 86-92.
4. *Чащин Д.В.* Моделирование процесса виброформования вертикального типа // Молодой ученый. 2016. № 14 (118). С. 199-201.
5. А.с. №388288 А1 SU 1. Установка для виброформования изделий / Берман М.А., Гольденберг Л.Г., Пыльнев В.Г., Ям В.М. 15.04.1988. Заявка № 4097777 от 19.05.1986.

ФРЕЗА ДОРОЖНАЯ НА ЭКСКАВАТОР

А.И. Соловьев, Д.В. Фурманов

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

Ярославский государственный технический университет

В данной статье рассматривается проблема отсутствия отечественных моделей навесных дорожных фрез. Сегодня рынок дорожных фрез представлен машинами иностранного производства, что приводит к затруднению в ремонте или замене деталей, предложено решение по созданию новой машины для отечественного производителя.

Ключевые слова: дорожная фреза, экскаватор, подшипниковая опора

MOUNTED ROAD MILLING MACHINE FOR EXCAVATOR

A.I. Soloviev, D.V. Furmanov

Scientific Supervisor - **D.V. Furmanov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This article discusses the problem of the lack of domestic models of mounted road cutters. Today, the road milling cutter market is represented by foreign-made machines, which leads to difficulties in repairing or replacing parts, a solution has been proposed to create a new machine for a domestic manufacturer.

Keywords: mounted road milling cutter, excavator, bearing support

В связи с быстрым ростом промышленных мощностей, логистики и населения, создается необходимость в высококачественных автомобильных дорогах. Для удовлетворения потребностей требуется строительство новых трасс, а также улучшения уже имеющихся. Ремонт дорожного полотна немислим без удаления старого асфальтобетонного покрытия, для увеличения скорости строительства, в целях уменьшения неудобств требуется высококачественные, современное фрезерное оборудование. На сегодняшний день Российский рынок дорожных фрез представлен моделями зарубежного производства Италии, Германии, США и т.д. Мы видим, что навесных дорожных фрез отечественного производства вовсе нет, отсюда выходит одна из главных проблем – это

долгое ожидание поставок запасных частей из-за чего следует простой техники и объекта, на котором ведутся ремонтные работы. С этой целью на базе кафедры «СДМ» была разработана навесная дорожная фреза на экскаватор.

В работе (рис. 1) представлена навесная дорожная фреза для экскаватора, с героторным гидромотором объемом 500 см^3 .

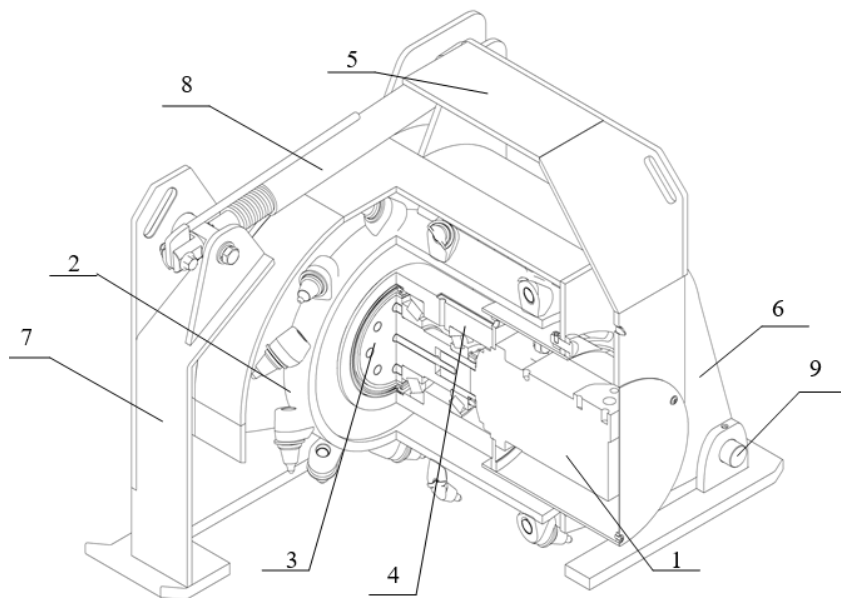


Рис. 1. Фреза дорожная навесная ФД-35:

- 1 – гидромотор; 2 – фрезерный барабан в сборе; 3 – ступица;
4 – подшипниковая опора; 5 – установочное крепление; 6 – рама;
7 – салазка; 8 – регулировочный механизм; 9 – ось

Передача крутящего момента от вала к фрезерному барабану происходит без дополнительных устройств передачи, что позволит использовать фактически всю мощность гидромотора. Особенностью данной конструкции навесной дорожной фрезы является наличие подшипниковой опоры как отдельного сборочного элемента. В сравнении с зарубежными моделями, у которых подшипниковая опора находится непосредственно в самом гидромоторе, что в свою очередь усложняет конструкцию и увеличивает его стоимость в сравнении с гидромотором без подшипниковой опоры.

Подшипниковая опора представляет собой два конических подшипника установленных на ступицу и закрытые гильзой. Такое решение

поможет разгрузить вал гидромотора, таким образом он будет воспринимать меньшие радиальные и осевые нагрузки, в сравнении с подшипниковой опорой установленной непосредственно в самом гидромоторе. Гильза крепится к установочной раме вместе с гидромотором.

Таким образом, производство отечественных навесных дорожных фрез поможет снизить время ремонта и удешевить его. Основная часть деталей и узлов может изготавливаться непосредственно в нашей стране, такие как зубья, элементы рамы, фрезерный барабан и т.д. Единственным элементом не отечественного производства является гидромотор. Данная дорожная фреза представляет собой конкурентно способное оборудование на экскаватор для ремонта дорожного покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Конгароол В.В.* Разработка фрезерного оборудования на базе дорожной фрезы / В.В. Конгароол, С.Ч. Монгуш // Успехи современной науки. 2017. Т. 4 №4. С. 83-95.
2. *Аскарходжаев Т.И.* Роль дорожных фрез в технологии ремонта изношенного дорожного покрытия / Т.И. Аскарходжаев, Ш.А. Пирнаев // Транспорт шелкового пути. 2019. №3-4. С. 109-120.
3. *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. С.33-37.

СОВРЕМЕННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ БОЛЬШОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

Н.А. Фомин, А.А. Понитаев

Научный руководитель – **А.А. Понитаев**, канд. техн. наук,
доцент

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Рассмотрены тенденции развития гидроподвесок модульных подъёмно-транспортных систем на основе продукции компании Cometto. Показаны значительные преимущества гидроподвески перед электроподвеской, а также проблемы в проектировании тех и других подвесок.

Ключевые слова: Cometto, подъёмно-транспортная система, модульная система, система управления.

MODERN TRANSPORTATION SYSTEMS OF HIGH CAPACITY

N.A. Fomin, A.A. Ponitaev

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

Bauman Moscow State Technical University

The trends in the development of control systems for modular lifting and transport systems are considered on the basis of the products of the Cometto company. The significant advantages of a hydraulic suspension over an electric suspension are shown, also problems in the design of both suspensions are shown too.

Keywords: Cometto, material handling system, modular system, hydraulic suspension.

В настоящий момент наблюдается скачок в разработке и применении IT систем и технологий. Вместе с этим обыватель перестаёт обращать внимание на развитие такой отрасли, как тяжёлое машиностроение. Человеку, не сталкивающемуся с ней постоянно, кажется, что она канула в лету вместе с индустриализацией. Однако современные проекты по созданию нефтехимических перерабатывающих комплексов, ветрогене-

раторов, атомных станций, металлургических комплексов, производств металлоконструкций и т.д. не могут быть реализованы без использования транспортных систем, зачастую, большой грузоподъёмности. С каждым годом возникает потребность в технике с всё большей грузоподъёмностью и специальными требованиями к подвеске.

Рассмотрим часть этих требований, а также конструктивные решения на основе продукции компании Cometto (Италия), являющейся лидером в этой отрасли. Эта фирма специализируется на производстве самоходных модульных транспортных средствах для перевозки негабаритных тяжёлых грузов.

В портфолио бренда присутствуют решения для перевозки грузов от 15 до 15'000 тонн. Для решения подобных задач компания производит несколько линеек модульных систем [1]: MSPE/SPMT, Eco1000/Eco1500, ModulMAX SP – E и BladeMAX. Каждая из этих систем имеет как свои плюсы, так и свои минусы.

До недавнего времени электродвигатели не могли составить конкуренцию гидроприводам по удельной мощности. Сейчас же в сегменте приводов средней мощности электроприводу уже могут составить конкуренцию гидравлике, однако для большой мощности гидравлика остаётся вне конкуренции, что накладывает определённые особенности на проектирование техники большой грузоподъёмности.

Принципиальным отличием массовых гидроприводов, используемых в тяжёлом машиностроении, является способ движения выходного звена: поступательный против вращательного у электродвигателей. Данная особенность приводит к ограничению в размещении приводов. Электроприводы можно разместить непосредственно во вращательном звене, а гидроприводы – нет. Для реализации вращательного движения их требуется размещать с эксцентриситетом относительно оси вращения кинематической пары, что является замкнутой кинематической цепью (рис. 1).



Рис. 1. Узел гидравлической подвески

Существенным преимуществом сопоставимых по мощности гидроприводов перед электрическими, при наличии нескольких однотипных управляемых звеньев, является возможность установки одной насосной станции, которая может обеспечивать энергией сразу несколько гидроприводов. Это даёт преимущество в экономии места, веса, цены и позволяет получить более удобную компоновку за счёт отсутствия редукторов, которые необходимы для каждого электродвигателя. Отдельно стоит отметить, что вес всех электродвигателей

телей вместе с редукторами значительно превышает вес всей гидросистемы. Этот вес, в случае электродвигателей, сосредоточен в самых неудобных местах – на оконечностях управляемых звеньев.

Конструкции с электроприводами выигрывают в простоте управления каждым звеном, тогда как конструкции с единой насосной станцией требуют более сложных в исполнении гидромеханических преобразователей [2], без которых невозможно качественно управлять подъёмом/опусканием платформы. При использовании единого гидравлического контура (без применения специальных гидромеханических распределителей) возможна ситуация, когда неравномерность транспортируемой нагрузки приводит к перекосам в процессе подъёма и опускания платформы. Конструкция с несколькими контурами решает эту проблему.

Ключевыми недостатками гидравлики являются: низкие скорости перемещений и значительная чувствительность к низким температурам.

Ключевыми недостатками электроприводов являются: очень высокие скорости перемещений, низкая, по сравнению с гидравликой, удельная мощность и значительная чувствительность к высоким температурам.

В заключение можно сказать, что выбор между электроприводами и гидравликой обусловлен большим количеством факторов, ключевыми из которых являются: быстрдействие, удельная мощность и климатические условия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Продукция. Cometto propelled to the max. URL: <https://www.cometto.com/products-ru/> (дата обращения: 10.03.2022 г.).
2. «MSPE/SPMT» Cometto propelled to the max. 09.2020 г. URL: <https://www.cometto.com/files/98331.pdf> (дата обращения: 10.03.2021 г.).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗАНИЮ АСФАЛЬТОБЕТОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ЭЛЕМЕНТА

Л.М. Шамахов, Н.Э. Лысаков, Д.В. Фурманов

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

Ярославский государственный технический университет

В работе представлены результаты определения сил сопротивления резанию асфальтобетона единичным режущим элементом дорожной фрезы с различной степенью износа режущей кромки.

***Ключевые слова:** фреза дорожная, асфальтобетон, сила сопротивления резанию, износ режущего элемента, методика исследования*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CUTTING RESISTANCE FORCES OF ASPHALT CONCRETE DEPENDING ON THE WEAR OF THE CUTTING ELEMENT

L.M. Shamakhov, N.E. Lysakov, D.V. Furmanov

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

Yaroslavl State Technical University

The article presents the results of determining the forces of resistance to cutting asphalt concrete by one cutting element of a road cutter with varying degrees of wear of the cutting edge.

***Keywords:** road milling cutter, asphalt concrete, cutting resistance force, wear of the cutting element, research methodology*

При выполнении работ, связанных с ремонтом асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог, не обойтись без применения дорожных фрез. Однако, возникает вопрос изменения сил сопротивления резанию с увеличением степени износа режущей кромки реза.

Отечественные [1, 2] и зарубежные [3] ученые занимались исследованиями износа режущих элементов дорожных фрез, однако, представленные результаты не отображают данных о том, какие силы действует

на резец. Тем не менее, данные работы являются хорошей методической базой, служащей для дальнейшего изучения поставленного вопроса.

Процесс фрезерования асфальтобетонов целесообразно изучать, начиная с взаимодействия единичного режущего элемента дорожной фрезы с асфальтобетоном.

Для реализации исследования был использован маятниковый стенд (рис. 1). В основу работы стенда положена теорема об изменении кинетической энергии для определения работы сил сопротивления резанью. Из теоремы 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 после выхода резца, Дж.

Усредненную силу сопротивления резанью определим по замеренному значению длины следа:

$$F_{\text{ср}} = \frac{A}{S}, \quad (2)$$

где S – путь, пройденный режущим элементом.

Конструкция маятникового стенда представляет собой стойки 1, которые жестко установлены на фундаменте при помощи дополнительных растяжек 2. На стойках в подшипниках качения установлен маятниковый рычаг 3. На лимбе 4 можно фиксировать угол отклонения маятника, а также максимальный угол отклонения после удара. На дополнительный регулируемый рычаг 5 устанавливается площадка под различные виды режущих элементов. Для изменения угла входа режущего элемента в асфальтобетон, установлена система рычагов 6. На рычаге 5 установлена площадка 7 для крепления резца 8.

Для определения силовых и энергетических характеристик процесса резания единичными режущими элементами стенд маятникового типа наиболее полно соответствует задачам моделирования процессов фрезерования и динамического разрушения асфальтобетона.

Сравнительный анализ проводился по асфальтобетону марки ЩМА-16 [4]. Температура образцов составляла 22 °С. Режущие элементы дорожной фрезы, участвующие в сравнении, имеют разный процент износа. Значение износа определялось разностью массы нового режущего элемента с изношенным. Начальная скорость резания составляет 4 м/с для каждого случая и соответствует конструктивным особенностям многих существующих фрез. По этим данным была получена определенная зависимость (рис. 2) и сделаны некоторые выводы.

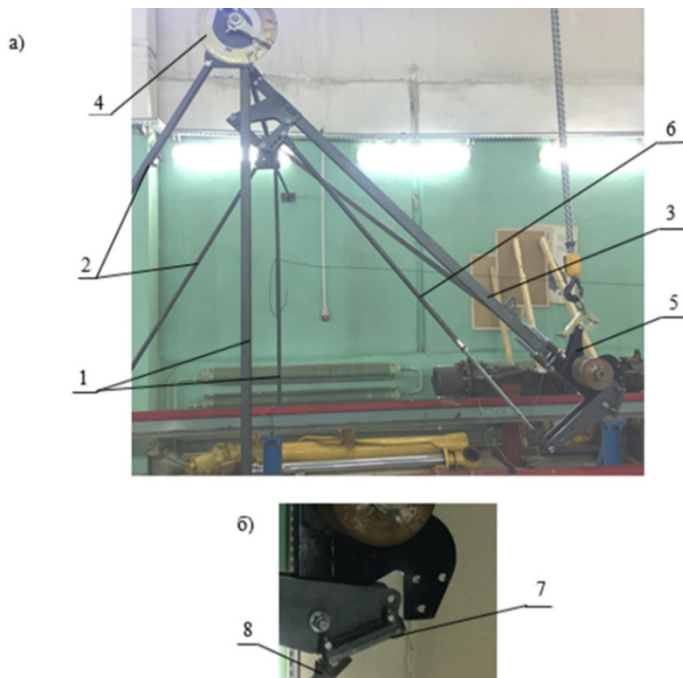


Рис. 1. Стенд маятникового типа:

a – рама; *б* – резцедержатель: 1 – стойка, 2 – растяжка, 3 – рычаг, 4 – лимб, 5 – регулируемый рычаг, 6 – система рычагов, 7 – установочная площадка, 8 – резец

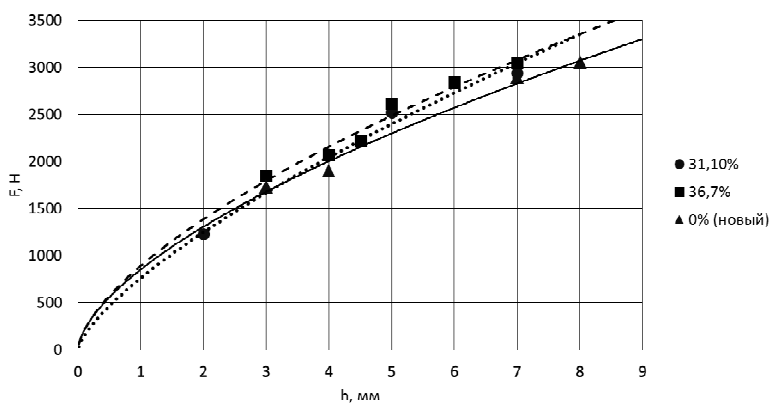


Рис. 2. График сравнения зависимостей сил от глубины резанья асфальтобетонов при резании разно изношенными режущими элементами

По полученным данным отметим некоторые выводы, которые вытекают из данной работы:

1. Энергоемкость процесса фрезерования асфальтобетонов изношенными режущими элементами возрастает незначительно.

2. Как и в предыдущих исследованиях [5] подтверждается нелинейный рост значения силы сопротивления резанию в зависимости от толщины срезаемой стружки и несет затухающий характер.

3. Полученные результаты позволят предсказывать нагрузки, действующие на рабочий орган дорожной фрезы при её работе с изношенными режущими элементами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Селиверстов Н.Д.* Влияние режимов работы дорожных фрез и износа режущих элементов на профиль формируемой поверхности // Интерстроймех2014: Материалы Междунар. науч.-техн. конф., Самара, 09–11 сентября 2014 года. Самара: ФГБОУВПО "Самарский гос. арх.-строит. ун-т", 2014. С. 77-81
2. *Осипов С.П.* Уравнения взаимной связи параметров износа конусных вращающихся резцов дорожных фрез / С.П. Осипов, А.В. Негодин, К.Б. Бида, А.В. Парфенов // Известия вузов. Сер. Строительство. 2012. № 4. С. 95-99.
3. *Попов С.Н.* Исследование влияния внешних условий изнашивания на износостойкость резцов дорожной фрезы / С.Н. Попов, Д.А. Антонюк // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2008. № 1. С. 25-29.
4. ГОСТ Р 58406.1-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия.
5. *Фурманов Д.В.* Экспериментальное определение сил сопротивления резанию при разрушении асфальтобетона единичным режущим элементом / Д.В. Фурманов, В.С. Чижов, Н.Э. Лысаков // Вестник Сибир. гос. автомоб.-дорож. акад. 2020. Т. 17, № 2 (72). С. 196-207.

КРАН НАПОЛЬНЫЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ

А.М. Шишов, Д.В. Фурманов

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

Ярославский государственный технический университет

В данной статье рассматривается проблема несовершенства грузоподъемного оборудования. Целью статьи является презентация и описание усовершенствованной конструкции напольного гидравлического крана

Ключевые слова: кран напольный гидравлический, кран гуськовый, кран напольный самоходный, грузоподъемное оборудование

HYDRAULIC FLOOR CRANE

A.M. Shishov, D.V. Furmanov

Scientific Supervisor - **D.V. Furmanov**, 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 present and describe the improved design of the floor hydraulic crane

Keywords: hydraulic floor crane, jib crane, self-propelled floor crane, lifting equipment

Оптимизация производства немислима без ликвидации тяжелого ручного труда, автоматизации и универсализации на всех стадиях и во всех протекающих процессах производства. На данный момент ни одну отрасль промышленности и народного хозяйства невозможно представить без широкого комплекса грузоподъемного оборудования. А отсутствие напольного гидравлического крана, немислимо, если речь идет о работах в автосервисах и станциях технического обслуживания, складах, строительных площадках и многом другом. На данный момент рынок напольных кранов в России не удовлетворяет спросу, и не имеют технически совершенных моделей. Для решения этой проблемы, в Ярославском государственном техническом университете, на кафедре «Строй-

тельные и дорожные машины» был разработан самоходный гидравлический напольный кран, модифицированная конструкция которого удовлетворяет большую часть потребностей потребителя и закрывает брешь на рынке производителей.

Кран предназначен для подъема груза весом до 1.5 тонн и на высоту до 3.3 метра. Рабочее оборудование состоит из телескопической стрелы, гидроцилиндра выдвижения стрелы, гидроцилиндра подъема стрелы, стойка опоры стрелы, устройства-адаптера, ДВС, шестеренного насоса, и гидромоторов привода хода. Стрела имеет максимальный вылет 2.5 метра и является телескопической, телескопирование производится за счет гидроцилиндра. Это позволяет производить выдвижение и фиксацию на любом расстоянии, а не на определенных отрезках длины, в любом состоянии, как при разгруженном, так и при нагруженном оборудовании.

Кран самоходный, что позволяет транспортировать конструкцию даже при максимальной нагрузке, без применения физической силы, что облегчает работу персоналу, снижает их усталость, уменьшает пагубное влияние на здоровье, а также увеличивает скорость передвижения, что позволяет уменьшить длительность цикла работы, и соответственно увеличить количество циклов в смену. При этом управление крана также может осуществляться рабочим, не имеющим специальной подготовки.

Еще одной уникальной особенностью данного оборудования является его универсальность, благодаря простому устройству-адаптеру, установленному на стреле, становится возможна установка навесного оборудования, так, например, кран можно будет использовать в качестве вилочного погрузчика при установке люльки – фасадного подъемника для производства ремонтных, монтажных работ и т.п., при условии соблюдении требований технического регламента таможенного союза 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» (с изменениями от 16.05.2016), а также как самоходный вакуумный подъемник для установки и возведения сэндвич-панелей и остекления.

Рама и несущие элементы крана состоят из профилей, а также из листовых материалов стали 10 ХСНД, так как сталь имеет повышенную прочность и коррозионную стойкость, а также широкий температурный диапазон эксплуатации. Все элементы несущей конструкции выполнены путем раскроя листа лазерным резаком с последующей гибкой на листогибочной машине, что экономически выгоднее и позволяет изготавливать детали сложного сечения и большими сериями. Это позволило сделать стрелу октагонального сечения, что уменьшает ее деформацию и облегчает процесс выдвижения стрелы.

Передвижение крана осуществляется приводом, состоящим из героторных гидромоторов установленных на оба передних колеса, крутящий момент передается зубчатой передачей на колесо, через плотное со-

единенное с ведомым зубчатым колесом болтовым соединением, и установлены на пару двухрядных, роликовых подшипников.

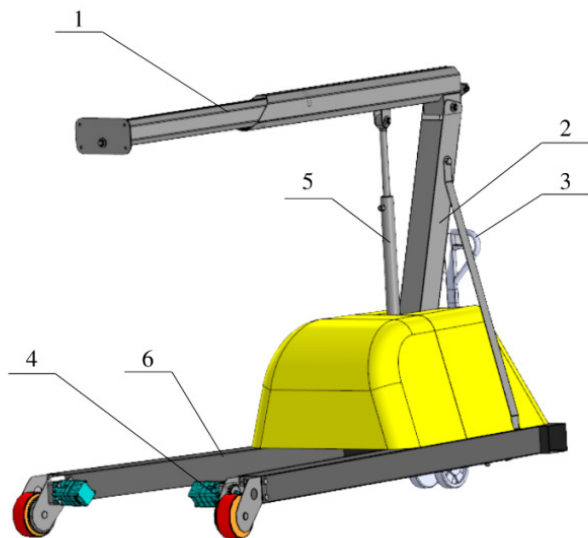


Рис. 1. Кран напольный гидравлический:

- 1 - стрела телескопическая; 2 - стойка опоры стрелы; 3 - джойстик управления;
4 –привод передвижения крана; 5 – гидроцилиндр подъема стрелы;
6 – рама опорная на колесном ходу

Привод всего гидрооборудования производится от шестеренного гидронасоса, работающего от бензинового или электрического двигателя, в зависимости от комплектации

На конце стрелы расположена пластина-адаптер, благодаря которому устанавливается дополнительное оборудование, на соединении из четырех болтов выдерживающий нагрузку (оборудование с грузом) на срез, которая, полностью соответствует грузоподъемности установленного на кране гидрооборудования (1,5 тонны).

Таким образом, в ходе проекта был разработан кран, не имеющий аналогов в мире, сочетающий в себе множество важных для эксплуатации качеств. Конструкция не только сохранила одно из самых важных достоинств – компактность, что позволяет также продолжать эксплуатировать оборудование на небольших складах в стесненных условиях, но также приобрела множество новых. При этом максимально сохранилась простота конструкции и эксплуатации. Сочетая в

себе свойства напольного крана, вилочного погрузчика, фасадного подъемника и самоходного вакуумного подъемника, машина стала универсальным, многофункциональным и незаменимым помощником во всех областях использования напольных кранов и другого грузоподъемного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТР ТС 010/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования» (с изменениями на 16.05.2016) от 18.10.2011
2. *Александров М.П.* Подъемно-транспортные машины. Атлас конструкций. М.: Изд-во «Машиностроение», 1987. 122 с.
3. *Александров М.П.* Грузоподъемные машины / М.П. Александров, Л.Н. Колобов, Н.А. Лобов. М.: Изд-во «Машиностроение», 1986. 400 с.

**К ВОПРОСУ АКТУАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ
РАСЧЕТА РЕЗУЛЬТАТОВ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА
ВИБРАЦИОННЫМИ КАТКАМИ**

Д.А. Шорохов, И.С. Тюремнов

Научный руководитель – **И.С. Тюремнов**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В работе представлена актуализирована методика расчета результатов уплотнения грунта вибрационными катками, влияние характеристик вибрационных катков на результаты уплотнения грунта в конкретных условиях.

Ключевые слова: грунт, уплотнение, каток вибрационный, методика расчета, глубина уплотнения, вынуждающая сила, частота колебаний.

**ON THE ISSUE OF UPDATING THE METHODOLOGY
FOR CALCULATING THE RESULTS OF SOIL COMPACTION
BY 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 updated methodology for calculating the results of soil compaction by vibrating rollers, the influence of the characteristics of vibrating rollers on the results of soil compaction in specific conditions.

Keywords: soil, compaction, vibrating roller, calculation method, compaction depth, driving force, oscillation frequency

Вибрационные катки, в настоящее время, являются наиболее распространенным средством уплотнения грунтов в дорожном строительстве. Несмотря на многолетнюю практику производства и применения вибрационных катков сфере строительства, до сих пор большинство производителей или предлагают весьма ограниченные рекомендации по обоснованию выбора модели и назначения режимов работы, выпускаемых машины вовсе не предоставляют никаких рекомендаций.

Проведенный анализ доступных рекомендаций по применению и обоснованию выбора грунтовых вибрационных катков отечественных и зарубежных производителей показал, что производители не предоставляют информацию для решения основных практически важных задач: обоснования выбора модели вибрационного катка для работы в различных технологических условиях; обоснования режима работы (назначение числа проходов для качественного уплотнения различных грунтов соответствующей моделью катка).

Это связано с отсутствием методики расчета влияния характеристик и режимов работы вибрационного катка на результаты изменения напряженно-деформированного состояния грунта на различных глубинах при уплотнении грунта в слое заданной толщины [1].

Таким образом, актуальна разработка методики расчета влияния характеристик вибрационных катков на эффективность уплотнения грунта в конкретных условиях [1]. Разработкой такой методики на протяжении многих лет занимаются в Ярославском государственном техническом университете, на кафедре «Строительные и дорожные машины».

В результате этих исследований была создана методика, реализованная в виде программного комплекса «Katki 2.0» [2]. Однако данный программный комплекс имеет ряд недостатков, заложенных в математическую модель: упрощенную реологическую модель и невозможность учета отрывных режимов работы вибровальца катка. Устранение данных недостатков и являлось задачей модернизации программного комплекса «Katki 2.0».

Для исследования взаимодействия вибрационного катка с грунтом была взята за основу трёхмассная реологическая модель, содержащая раму катка, валец и грунт [3]. На характеристики колебаний вальца большое влияние оказывают свойства амортизаторов, установленных между вальцом и рамой катка. Из-за ограниченности информации о характеристиках амортизаторов вальца, применяемых на различных моделях вибрационных катков, для верификации разработанной реологической модели, необходимо было провести экспериментальное определение характеристик амортизаторов вальца. В процессе экспериментальных исследований были получены численные значения коэффициента упругого сопротивления сдвигу амортизаторов, устанавливаемых на некоторых моделях вибрационных катков производства Дунарас и «Завода «Дорожных машин».

Также для верификации реологической модели и программного комплекса «Katki 2.0» проводились экспериментальные исследования уплотнения грунта вибрационным катком НАММ 3411 в полевых условиях [4].

Для исследования влияния характеристик вибрационного катка и режимов его работы на особенности нагружения поверхности грунтов различных видов и свойств, был проведен вычислительный эксперимент с использованием разработанной реологической модели. Моделировалось изменение во времени силы реакции грунта, а также определялись составляющие времени возрастания и спада напряжений в рамках характерного единичного цикла воздействия вальца (рис. 1). В качестве независимых переменных использовались масса вибровальцового модуля, относительное вынуждающее усилие, коэффициент упругого сопротивления грунта и коэффициент вязкого сопротивления грунта.

В результате моделирования строились осциллограммы перемещения вибровальца, ускорения вибровальца и рамы, а также реакции грунта (см. рис. 1).

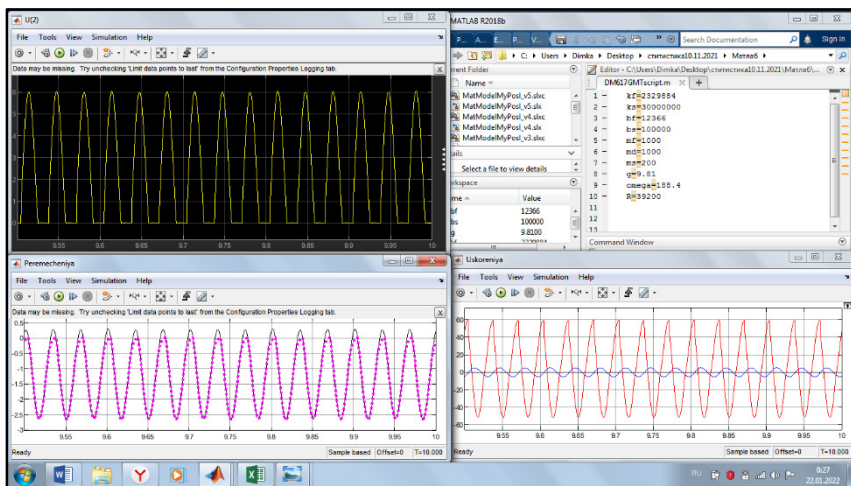


Рис. 1. Осциллограмма результатов вычислительного эксперимента для катка DM-617

Для обработки результатов вычислительного эксперимента использовалась программа STATISTICA.С её помощью подбирались уравнения регрессии для расчета влияния независимых факторов на максимальную силу реакции грунта, а также составляющие времени возрастания и спада напряжений в рамках характерного единичного цикла воздействия вальца.

Верификации реологической модели планируется выполнить в результате сравнения с полученными экспериментально значениями уско-

рений вертикальных колебаний вальца и рамы вальца, а также перемещениям вальца.

Полученные регрессионные зависимости будут вноситься в программный комплекс «Katki 2.0». Верификацию программного комплекса планируется проводить путем сравнения результатов расчета с экспериментальными данными изменения напряжений в грунте и изменению коэффициента уплотнения или динамического модуля деформации грунта при уплотнении вибрационными катками, полученные как авторами [5], так и другими исследователями.

Таким образом, в результате реализации представленного плана действий, будет актуализирован программный комплекс расчета результатов уплотнения грунта вибрационным катком «Katki 2.0».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шорохов Д.А.*, Прогнозирование технологических возможностей вибрационных катков при уплотнении грунтов / Д.А. Шорохов, И.С. Тюремнов // Семьдесят четвертая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с междунар. участием 21 апреля 2021 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2021. С. 331-334. Тест: электронный..
2. *Тюремнов И.С., Игнатъев А.А., Попов Ю.Г.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012618683 «Программный комплекс «Katki» (Katki).
3. *Тюремнов И.С.* К вопросу обоснования значения присоединённой массы грунта при реологическом моделировании процесса уплотнения грунта вибрационным катком / И.С. Тюремнов, А.С. Морев, Д.В. Фурманов // Проблемы машиноведения: материалы III Междунар. науч.-техн. конф., Омск, 23–24 апреля 2019 года. Омск: Омский гос. техн. ун-т, 2019. С. 215-223.
4. *Ефимов С.С.* Экспериментальное исследование уплотнения грунта вибрационным катком НАММ 3411 / С.С. Ефимов, Д.А. Шорохов, И.С. Тюремнов, А.С. Краюшкин // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях Белгород, 23–25 сентября 2021 года. Белгород: БелГТУ, 2021. С. 106-112.
5. *Тюремнов И.С.* Экспериментальные исследования напряжений в грунте при воздействии вибрационного катка / И.С. Тюремнов, Д.В. Фурманов // Проблемы машиноведения: Материалы IV Междунар. науч.-техн. конф., Омск, 17–19 марта 2020 года / Науч. редактор П.Д. Балакин. Омск: Омский гос. техн. ун-т, 2020. С. 129-137.

О ВИБРОПЛОЩАДКЕ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

А.В. Яковлев, А.С. Морев

Научный руководитель – **А.С. Морев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается существующий лабораторный стенд виброплощадки ударного типа, а также выявление недостатков конструкции и эксплуатации данной виброплощадки при уплотнении бетонных смесей.

***Ключевые слова:** виброплощадка, бетон, вынуждающее усилие, бетонная смесь, уплотнение бетона*

ABOUT THE VIBRATION PLATFORM FOR COMPACTING CONCRETE MIXES

A.V. Yakovlev, A.S. Morev

Scientific Supervisor - **A.S. Morev**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article considers the laboratory stand of a shock-type vibration platform, as well as identifying the shortcomings of the design and operation of this vibration platform when compacting concrete mixtures.

***Keywords:** vibration platform, concrete, forcing force, concrete mix, concrete compaction*

При производстве железобетонных сборных и бетонных конструкций чаще всего встречается динамическое вибрационное формирование бетонных смесей, происходящее под действием инерционных сил, возникающих при уплотнении бетонной смеси. При процессе уплотнения бетонной смеси ее первоначальная структура разрушается, убираются из смеси пузырьки воздуха и плотность смеси возрастает более чем в 1,5 раза.

Самым распространенным методом уплотнения бетонных смесей на предприятиях является метод объемного вибрационного формирования

изделий с использованием вибростолов или виброплощадок. Конструкция виброплощадки включает в себя, как правило, один или несколько вибростолов с верхней подвижной рамой или без нее. Главным параметром виброплощадки является грузоподъемность.

По виду колебания подразделяют на гармонические, бигармонические, поличастотные и пространственные. Самыми распространенными являются виброплощадки с гармоническими и ударно-вибрационными колебаниями [1].

Время, затрачиваемое на уплотнение одного изделия, зависит от жесткости бетонной смеси, габаритов изделия, количества арматуры, равномерности заполнения формы бетонной смесью, а также от амплитуды и вынуждающего усилия виброплощадки. Преимуществом использования виброплощадок является то, что на них можно формировать изделия разной формы.

Поскольку бетонная промышленность является одной из главных частей индустриализации и урбанизации, она исследуется и совершенствуется из года в год. Многие инженеры занимаются изучением и развитием процессов уплотнения бетонной смеси, а предприятия производящие железобетонные изделия встречаются в большинстве городов нашей страны.

В связи с вышеперечисленным требуется понимание процессов формирования и уплотнения бетонных смесей, зависимости от используемых заполнителей и вяжущих веществ и колебательных нагрузок.

Нагрузки, передаваемые от виброплощадки к форме со смесью, зависят от вынуждающего усилия, создаваемого валами возбудителями площадки. При его регулировании можно получать различные режимы уплотнения. А также стоит учитывать коэффициент жесткости резиновых прокладок и направления передаваемых колебаний.

Недостатками существующих виброплощадок являются несинхронность отдельных вибростолов [2], галлопирование формы, резонансные частоты при остановке вибромашины [3].

Данные недостатки могут быть проанализированы и устранены при разработке нового экспериментального учебного стенда виброплощадки (рис. 1, 2). Недостаток, связанный с несинхронностью вибростолов возможно исправить их принудительной связью между собой, что также повысит жесткость площадки.

Возможность регулирования вынуждающего усилия будет реализована путем установки и подключения приводных электродвигателей валов дебалансов через частотные преобразователи. Также данное оборудование поможет при торможении валов при остановке машины, устраняя резонансные частоты и инерцию.

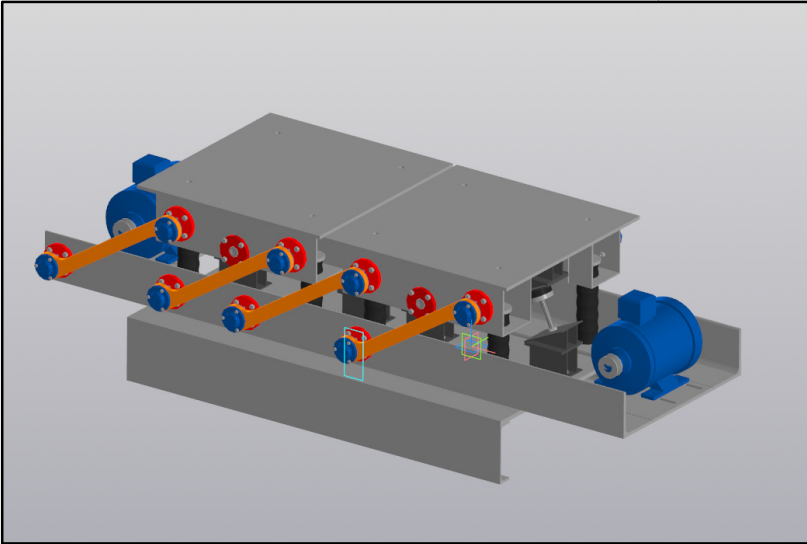


Рис. 1. Модель Экспериментального стенда ударной виброплощадки

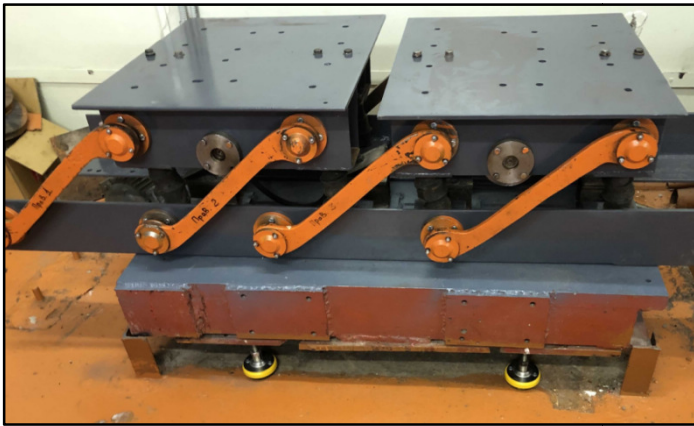


Рис. 2. Экспериментальный стенд ударной виброплощадки

Таким образом, данный стенд позволит исследовать процессы уплотнения бетонной смеси с различными требуемыми параметрами изделий и выделить подходящие режимы работы площадки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев В.Г.* Анализ конструкций виброплощадок с многокомпонентными колебаниями для формования железобетонных изделий// Актуальные проблемы развития дорожного комплекса: Материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 20-летию кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород: Белгород. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова, 2016 С. 8 – 13.
2. *Матмуродов Ф.М.* Анализ преимущества и недостатки разных виброплощадок / Ф.М. Матмуродов, Т. Юлдашев, Б. Уразалиев // Современные тенденции развития аграрного комплекса: сб. / Ташкентский филиал Рос. гос. ун-та нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Ташкент, Республика Узбекистан. Соленое Займище: Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, 2016. С. 1304–1308.
3. *Фурманов Д.В.* Динамическое торможение инерционных вибраторов виброплощадок для уплотнения бетонных смесей /Д.В. Фурманов, А.В. Барулев, Н.Е. Тарасова, Е.К. Чабуткин // Вестник СибАДИ. 2019. Т.16, №2. С. 134-144..
4. Пат. № 1224141 SUA 28 В 1/08. Виброплощадка / Б.И. Зыков, С.Н. Апполонов, С.В. Разумов; опубл. 15.04.1986.

ОЦЕНКА НАГРУЖЕННОСТИ ПРОУШИН СЛОЖНЫХ ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Д.В. Яковлев, С.Г. Гнездилов

Научный руководитель – **С.Г. Гнездилов**, канд. техн. наук, доцент

Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана

С использованием системы конечно-элементного анализа выполнена оценка нагруженности отдельных проушин сложных шарнирных соединений, включающих большое число проушин.

Ключевые слова: блок проушин, растяжение, реакция силы

EVALUATION OF THE LOADING OF LUGS OF COMPLEX HINGED JOINTS

D.V. Iakovlev, S.G. Gnezdilov

Scientific Supervisor – **S.G. Gnezdilov**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

¹Bauman Moscow State Technical University

Using a finite element analysis system, the loading of individual lugs of complex hinged joints, including a large number of lugs, was assessed.

Keywords: lug block, stretching, force reaction

Тяжелонагруженные шарнирные соединения для придания им большей компактности выполняют на основе большого числа проушин. В числе возможных применений таких соединений: многоосные модульные транспортные средства, мобильные мосты [1] и др.

Поскольку проушины являются ответственными силовыми элементами, воспринимающими сосредоточенные силы [2], то согласно государственному стандарту [3, 4] работоспособность таких шарнирных узлов рекомендуется анализировать с помощью метода конечных элементов. Это позволяет учитывать концентрацию напряжений, возникающих возле отверстий, и пластические деформации, снижающие концентрацию [2].

Для расчета простых вильчатых проушин (с максимальным числом проушин с одной стороны не более двух) существуют различные подходы [3, 5]. Предварительные расчеты проушин проводят на основе приближенных методов. Известна методика [6], предназначенная для приближенного расчета усилий, образующихся в соединениях, состоящих из большого числа проушин, соединенных одним пальцем. Она позволяет определить образующиеся в каждой проушине силы, что делает возможным их последующий независимый прочностной расчет.

В упомянутой методике рассматриваются симметричные схемы соединений: количество проушин с одной и другой стороны отличается на единицу. Действующую со стороны с меньшим числом проушин суммарную силу P предлагается [6] равномерно распределять между всеми проушинами (рис. 1). С противоположной стороны предлагается также суммарную силу делить на число проушин, уменьшая при этом усилия в крайних проушинах на коэффициент C , который для разного общего числа проушин n в соединении предлагается принять равным: $C = 0,35$ при $n=5$; $C = 0,40$ при $n=7$; $C = 0,43$ при $n=9$ и $C = 0,44$ при $n=11$.

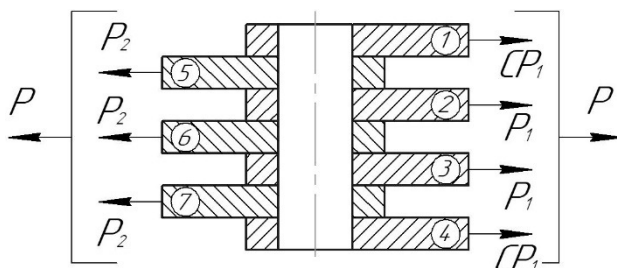


Рис. 1. Шарнирное соединение

С применением расчетного комплекса *Ansys Workbench* выполнена проверка корректности предлагаемых в [6] коэффициентов. С этой целью построено несколько моделей блоков проушин с числом проушин – 7, 9 и 11, а также получены распределения усилий по отдельным проушинам блока. При этом диаметр отверстия в проушине и пальца принят равным 120 мм, внешний радиус проушины – 90 мм, ее толщина – 40 мм, зазор между соседними проушинами – 0,5 мм. Внешняя грань проушины и ее отверстие соосны. Коэффициент трения между пальцем и внутренними гранями проушин принят равным 0,2.

Сравнение полученных в *Ansys Workbench* результатов для сил в отдельных проушинах блока с предложенными в [6] коэффициентами дал расхождения, представленные в таблице 1, в которой принят следующий порядок нумерации проушин в соединении: согласно рис. 1 сперва нумеруются проушины со стороны с большим числом проушин, а затем нуме-

рация продолжается в том же направлении со стороны с меньшим числом проушин.

Таблица 1. Несовпадение результатов расчета распределения усилий в проушинах блока согласно [1] и в Ansys Workbench

Номер проушины	Расхождение, %		
	7 проушин	9 проушин	11 проушин
1	36,3	32,9	68,5
2	23,9	19,3	17,1
3	23,9	9,8	8,0
4	36,3	19,3	8,0
5	3,1	32,9	17,1
6	6,5	6,3	68,5
7	3,1	7,9	9,0
8	–	7,9	5,5
9	–	6,3	5,4
10	–	–	5,5
11	–	–	9,0

Из табличных данных следует, что имеет место существенное несовпадение результатов расчета сил по [6] и вычисления их в *Ansys Workbench*, которое для крайних проушин достигает 68,5%. Полагая, что представленный в [6] подход может зависеть от отношения диаметра пальца к толщине проушины, с применением *Ansys Workbench* получены также зависимости (рис. 2) изменения силы F в первой проушине соединения от диаметра отверстия (пальца) для разных исполнений соединений с 7, 9 и 11 проушинами. Кривые построены на основе данных для диаметра отверстия (пальца) равного 30, 60, 90, 120 и 150 мм. Суммарная сила P , воздействующая на шарнирное соединение, принята равной 1000 кН.

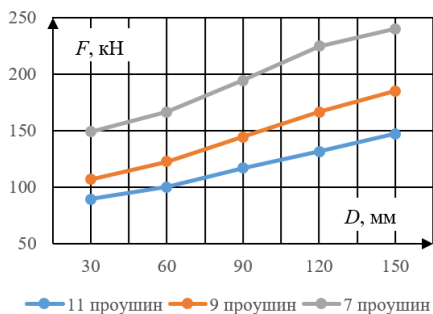


Рис. 2. Зависимости значений сил в 1-й проушине для разных блоков проушинок диаметра отверстия в проушине

Из представленных на рис. 2 графиков следует, что распределение сил в шарнирном соединении между отдельными проушинами существенно зависит от диаметра отверстия (пальца) проушин шарнирного соединения. Это означает, что предлагаемый в [6] подход имеет ограниченную область применения, которую следует уточнить, в том числе, различных значений диаметра отверстия (пальца) проушины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tropin S.L.* Assessment of the possibility of using mobile bridges to overcome man-made structures by specialized multi-axle wheeled vehicles / S.L. Tropin, A.N. Misinev, S.G. Gnezdilov // *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2021. Vol. 7, № 3. P. 296-301. URL: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2021-07-03-296-301>.
2. Расчет и проектирование соединений «ухо-вилка»: электрон. учеб. пособие / В.Н. Майнсков, С. В. Глушков, Л. М. Савельев [и др.]; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). Электрон. текстовые и граф. дан. Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм. ун-та, 2011. 33 с.
3. ГОСТ 33169-2014. Краны грузоподъемные. Металлические конструкции. Подтверждение несущей способности.
4. *Егоров Д.С.* Алгоритм автоматизированного вычисления рациональных значений геометрических параметров шарнирных соединений / Д.С. Егоров, С.Г. Гнездилов // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: Материалы Междунар. науч.-техн. конф., Тюмень, 8 февраля 2021. Тюмень: ТИУ, 2021. С. 81-84.
5. *Сухарев И.П.* Прочность шарнирных узлов машин. М.: Машиностроение, 1977. 137 с.
6. Stress Analysis Manual. Date Views 15.03.2022. URL: engineeringlibrary.org/reference/lug-analysis-air-force-stress-manual.

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

А.А. Копосов, Д.В. Фурманов

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

Ярославский государственный технический университет

В статье приводится информация по методике определения работы сил сопротивления резанию древесины при высоких скоростях. Описана конструкция специального инерционного стенда и приведена методика его работы.

Ключевые слова: процесс резания, древесина, силы резания, работа сил сопротивления резанию, стенд

STAND FOR THE STUDY OF THE PROCESS OF HIGH-SPEED WOOD CUTTING

A.A. Kopusov, D.V. Furmanov

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

Yaroslavl State Technical University

The article provides information on the methodology for determining the work of resistance forces to cutting wood at high speeds. The design of a special inertial stand is described and the method of its operation is given.

Keywords: cutting process, wood, cutting forces, work of cutting resistance forces, stand

В настоящее время существует целый класс оборудования, относящиеся к строительным и дорожным машинам, которые, так или иначе, осуществляют процесс резания древесины. К ним относятся мульчеры, кусторезы, измельчители отходов древесины.

Мульчер – оборудование, предназначенное для измельчения древесины, пней и кустарника на корню. Устанавливаются мульчеры на трактора, погрузчики, экскаваторы. Рабочее устройство – тяжелый металлический (стальной) ротор с установленными на нем подвижными молотками или неподвижными резцами.

Кусторез – универсальное оборудование, которое применяется для скашивания травы, срезания веток, дикой поросли, кустарника. По устройству кусторезов различают устройства с пассивными и активными рабочими инструментами. К технике с активными инструментами относят устройства с дисковыми фрезами, горизонтальными ножами, режущими приспособлениями на гибкой вязке и ножами на вращающихся дисках.

Измельчители древесины (рубительные машины) – машины, предназначенные для измельчения крупных древесных отходов (ветки, макушки деревьев) и мелких (кора, обыкновенные опилки, стружка), которые в дальнейшем используются на производстве.

подавляющее большинство указанных машин производятся за рубежом. Некоторые модели машин выпускаются в России, но все они являются объектами интуитивного проектирования или слепого копирования с зарубежных аналогов. То же самое можно сказать и о многих производителях импортного оборудования. Рабочий процесс измельчения древесной и кустарниковой растительности, древесных отходов и порубочных остатков в настоящее время изучен не в полной мере. Среди имеющихся работ можно выделить работы экспериментальной направленности для исследования кинематических [1, 2] и силовых [3] параметров процесса резания древесины, однако, направленность исследования преследует цель разработки оборудования для деревообработки. Учитывая, что работа измельчителей, мульчеров и кусторезов отличается высокими скоростями резания, большими энергозатратами и достаточно крупными размерами измельченного материала, для обоснования конструкции режущих элементов и кинематики роторов требуется специальная экспериментальная база.

С этой целью на кафедре «Строительные и дорожные машины» Ярославского государственного технического университета разработан стенд для исследования параметров высокоскоростного резания.

Стенд (рис. 1) представляет собой рамную конструкцию, состоящую из основной рамы 1 и подрессоренного полурамка 2, между которыми стоят амортизирующие пружины 6. На раме установлен двигатель 5 и управляющий блок с частотным преобразователем. На полурамке находится вал ротора 3, на котором установлен маховик с режущим инструментом, закрытым кожухом 4. Вал ротора от электродвигателя приводится ременной передачей.

Принцип действия стенда основан на измерении энергии удара. Раскручивается маховик до определенной частоты вращения, на котором расположен режущий элемент. Замеряется частота вращения маховика до процесса резания и после него. Рассчитывается энергия удара по измене-

нию кинетической энергии маховика до и после удара. По изменению частоты вращения рассчитывается работа A сил единичного резания:

$$A = \frac{J}{2} (\omega^2 - \omega_1^2); \quad (1)$$

где J – момент инерции ротора, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

ω и ω_1 – угловые скорости ротора до удара и после него, с^{-1} ;

Соответственно, опираясь на имеющуюся работу можно определить усредненную силу резания:

$$F = \frac{A}{s}; \quad (2)$$

где s – толщина срезаемой стружки, м;

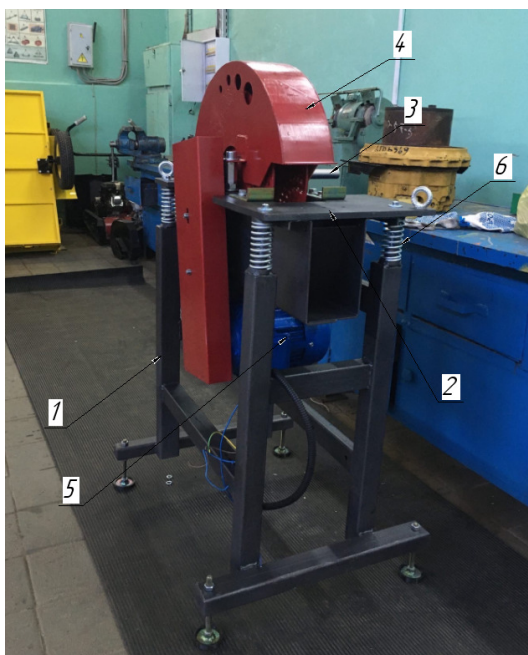


Рис. 1. Стенд для исследования процесса резания

Угловая скорость измеряется при помощи установленного на стенд тахометра. Толщина s срезаемой стружки соответствует толщине подаваемого в зону резания образца.

Таким образом, разработанная установка позволяет экспериментально изучить процесс резания широкой группы древесин при различных скоростях резания различных по конструкции режущих элементов.

На основе полученных экспериментально данных по режущим свойствам различных элементов возможно построение математических моделей рабочего процесса измельчителей древесины, мульчеров, роторных кустанорезов и т. д. Кроме того, наличие указанных моделей позволяет решать задачи разработки методики расчета и оптимизации параметров оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Любченко В.И.* Резание древесины и древесных материалов: учебник для вузов. М.: МГУЛ, 2004. 306 с.
2. Стенд для исследования кинематики процессов резания древесины: монография / А.А. Воробьев, И.Н. Спицын, Н.В. Кравченко, Н.В. Анисимов, Д.А. Маеков // Elibrary.ru: научная электронная библиотека. 2016. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27510337>
3. Стенд для исследований характеристик процесса резания: монография / Ю.В. Суханов, Т.А. Царев, А.С. Васильев, М.В. Ивашнев // Инженерный вестник Дона. 2021. № 5. 77 с. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6956>

СЕКЦИЯ «ДОРОЖНЫЙ И АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ»

УДК 656(470.316):502.1

ESG-ПОДХОД К СТРОИТЕЛЬСТВУ И РАЗВИТИЮ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ (НА ПРИМЕРЕ г. ПЕРЕСЛАВЛЯ-ЗАЛЕССКОГО)

Ю.А. Колмаков, Г.А. Фоменко

Научный руководитель – **Г.А. Фоменко**, д-р геогр. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет
НПО «Институт устойчивых инноваций»

В статье раскрываются особенности реализации ESG-подхода (англ. Environmental, Social and Governance) в области строительства и развития транспортной инфраструктуры при нарастании климатических и природных неопределенностей и рисков. Базируясь на системном подходе к принятию решений и реализуя концепцию устойчивого экодизайна территорий, предлагаемая методология опирается на природо-совместимые решения (англ. Nature-based solutions – NbS). Такой ориентированный на устойчивое развитие ESG-подход способен лучше отражать разнообразие географических условий, уточнять диапазон эффективных решений, расширять возможные стратегии развития и проектировать комплексные меры по развитию дорожных систем.

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, устойчивое развитие, ESG-подход, устойчивый экодизайн территорий, природо-совместимые решения

ESG-APPROACH TO CONSTRUCTION AND DEVELOPMENT OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE (ON THE EXAMPLE OF PERESLAVL-ZALESSKY)

Yu.A. Kolmakov, G.A. Fomenko

Scientific Supervisor - **G.A. Fomenko**, Doctor of Geographic Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University
Group of Companies «Institute of Sustainable Innovation»

The article reveals the features of the implementation of the ESG approach (Environmental, Social and Governance) in the field of construction and development of transport infrastructure in the context of increasing climate and natural uncertainties and risks. Based on a system approach to decision-making and implementing the concept of sustainable ecodesign of territories, the proposed methodology relies on Nature-based solutions (NbS). Such ESG approach oriented a sustainable development is able to reflect the diversity of geographical conditions, clarify the range of effective solutions, expand possible development strategies and design comprehensive measures for the development of road systems.

Keywords: *transport infrastructure, sustainable development, ESG approach, sustainable ecodesign of territories, nature-based solutions*

Традиционно, на протяжении веков, транспортная инфраструктура предоставляет людям доступ к рабочим местам, образованию и медицинским услугам, а также обеспечивает поставки товаров и услуг. В условиях современных высоких климатических и природных неопределенностей и рисков строительство и развитие транспортной инфраструктуры нуждается в повышении устойчивости, поскольку прошлые, направленные преимущественно на обеспечение экономической выгоды традиции дорожного строительства не отвечают на современные вызовы [1].

Начавшийся переход к новому технологическому укладу, массовое внедрение целого ряда глобально значимых критических технологий¹¹, непредсказуемость их совместного воздействия на жизнь людей, скорость и тренды общественных процессов – от глобальных до локальных пока существенно не улучшили ситуацию [2]. Например, только за последний век силовой агрегат автомобилей и поездов перешел от парового двигателя до современного, в нашем представлении, ДВС на углеродном топливе (бензин, ДТ); потом появилось авиасообщение, использующее дорогой, сложный в производстве и токсичный керосин; все более широкое распространение получают беспилотники. Скорость перемещения увеличилась в десятки раз, изменяя мир, но не всегда делая его лучше. Например, возросла скорость перенесения вирусов (COVID-19 и др.), а экологические ущербы практически не сократились. В 2020 г. на транспортный сектор приходилось 24% прямых выбросов CO₂ в результате сжигания топлива. На него также приходилось 57% мирового спроса на нефть и 28% общего потребления энергии 36% [3]. Это сопровождается

¹¹«Критическая технология» - технология, разработка и использование которой обеспечивают интересы государства в сфере национальной безопасности, экономического и социального развития (Постановление Правительства Российской Федерации от 29.01.2007 № 54 (ред. от 06.10.2011) «О федеральной целевой программе "Национальная технологическая база» на 2007–2011 годы».

нарастанием техногенных аварий, негативными экологическими и социальными последствиями многих решений в развитии дорожной сети [4].

Проблема строительства и развития транспортной инфраструктуры сегодня осознается на самом высоком уровне. Об этом свидетельствует то, что по состоянию на 2017 год 6,4 млрд \$ прямых инвестиций стран G20 в *устойчивую инфраструктуру* были направлены именно на транспорт [5]. В 2010 году на транспортный сектор приходилось около 26 процентов от общего мирового потребления поставляемой энергии и 55 процентов от общего потребляемого жидкого топлива [2].

В последние десятилетия были достигнуты значительные успехи в методологиях транспортного планирования и проектирования, чему способствовало развитие вычислительных алгоритмов, технологий, инструментов пространственного моделирования. Однако на уровнях стратегического планирования по-прежнему отсутствует общепринятая модель оценки, реализующая парадигму устойчивости транспортной инфраструктуры [6]. В наших исследованиях на примере г. Переславля-Залесского выявлены и проанализированы основные факторы, охватывающие три аспекта устойчивости: экономический, социальный и экологический. Такая модель оценки представляет собой междисциплинарный подход, тесно связывающий сетевой анализ, пространственную географию, региональные экономические и экологические проблемы в компьютерной среде на основе геоинформационных систем (ГИС).

Методология

Основным трендом повышения устойчивости строительства и развития транспортной инфраструктуры в ситуации высоких климатических и природных рисков сегодня является реализация концептуальных подходов устойчивого развития (ESG²), которые, применительно к сфере развития дорожных систем включают в себя: ответственное инвестирование, рассмотрение дорожных систем как важнейший элемент пространственного развития с учетом интересов будущих поколений. Применение ESG-принципов является базовым направлением анализа и моделирования систем развития транспортной инфраструктуры в ситуации высоких климатических и природных рисков³. Принцип ESG заключается в планировании и проектировании развития транспортной инфра-

²GRI является одной из наиболее часто используемых систем отчетности ESG. URL: <https://www.globalreporting.org/> (дата обращения 09.03.2022).

³Так генеральный секретарь ООН Кофи Аннан в начале 21 века предложил управленцам крупных мировых компаний включить эти принципы в свои стратегии, в первую очередь для борьбы с изменением климата [8].

структуры с учетом триединства природы, общества и управления⁴. Экологический аспект учитывает влияние деятельности на окружающую среду, к социальному аспекту относится благополучие работников, местных жителей, а управленческий фактор учитывает такие составляющие, как коррупция, бизнес-этика, вознаграждение топ-менеджеров. Внедрение оценки ESG-рисков в проектный процесс – важный элемент перехода к созданию устойчивой и качественной транспортной инфраструктуры [5]. Наиболее значительные возможности для продвижения в этом направлении включают изменение стратегий развития и соответствующего инвестирования в проектирование сетей общественного транспорта, повышение эффективности транспортных средств, управление спросом, оптимизацию природопользования [8].

Оценку конкретной схемы развития дорожной инфраструктуры, на соответствие критериям ESG в процессе устойчивого экосистемного дизайна (УЭД) [9], осуществляется по трем группам факторов. Группа *экологических* критериев (E – environmental) предназначена для оценки влияния на окружающую среду, которое может быть оценено как позитивное или негативное воздействие на потоки парниковых газов и качество экосистемных услуг, на которые воздействует транспортная сеть в процессе ее эволюции и изменениях технологий строительства и видов транспортных средств. В первую очередь на сохранение среды обитания диких животных, снижения загрязнения воздуха, водных объектов, почвенного покрова, защита экосистем, шумового воздействия и т.д. *Социальные* критерии (S – social) отражают отношение к людям и местным сообществам, а также к строителям и эксплуатационникам. Например, соблюдение высоких стандартов труда, включая здоровье и безопасность, вклад в устойчивое развитие местного сообщества, в т. ч. повышение транспортной доступности, дополнительная занятость, достойная оплата труда, профессиональные навыки), борьба с бедностью и социальным неравенством и т. д. Критерии *управления* (G – governance) фиксируют качество управления, например, наличие и соблюдение стандартов противодействия коррупции, качество и реализуемость планов, соблюдение правил (в сфере ответственного управления и др.) по цепочке поставок, оценка деятельности руководителей на основе ключевых показателей эффективности в увязке с долгосрочными целями устойчивого развития и ESG-рисками и т.п.

⁴В условиях современных вызовов к экономике стран и предприятий в Правительстве Российской Федерации начата работа по созданию стимулирующей политики ESG-финансирования (финансирование, принцип ведения которого соответствует передовым методикам управления и оказывает положительное влияние на экологию и общество как в текущий момент времени, так и в долгосрочной перспективе) [10].

Выгоды и издержки ESG-проектов в области строительства и развития транспортной инфраструктуры анализируются в рамках теории полной экономической ценности (англ. total economic value, TEV), которая позволяет выявлять и оценивать многие блага, оказываемые антропо-природными системами, в которых деятельность человека играет доминирующую роль. В рамках этой теории могут быть выявлены (определены) и оценены (рассчитаны) выгоды и затраты реализации инженерного проекта с учетом воздействия на окружающую природную среду и местные сообщества – будь то меры по улучшению состояния существующих экосистем и созданию новых экосистем, либо, наоборот, разрушение и деградация экосистем. Оценке подлежат и те виды воздействий, которые сложно идентифицировать и оценить с использованием традиционно применяемых экономических методов.

Результаты

Городской округ город Переславль-Залесский – является важным транспортным узлом, из которого расходятся автодороги в направлении Ярославля (120 км) и Москвы (140 км). В округе доминирует автомобильный транспорт (личный и общественный), в меньшей степени – железнодорожный, трубопроводный, воздушный. Водный транспорт не развит в связи с природоохранным режимом оз. Плещеево. Вокруг озера существует железнодорожная ветка туристического назначения. Железнодорожная станция «Переславль», используемая для перевозки грузов близлежащих предприятий и перевозки пассажиров в г.Ярославль и г.Москва действует в неудовлетворительных объемах, тому способствует тупиковый тип платформы и нахождение на окраине города. Для перевозки тяжёлых грузов и совершения дальних перевозок используется окружная дорога вокруг г. Переславля-Залесского, но транзитный личный транспорт по-прежнему использует центральную улицу города, затрудняя движение жителей города, создавая заторы.

Анализ показал, что дорожная сеть городского округа г. Переславль-Залесский приближается к пределам своей пропускной способности, что, в сочетании с недофинансированием, привело к существенному ухудшению её качества, снижению средней скорости движения и росту транспортных издержек, что характерно для многих регионов мира. Существующая инфраструктура не справляется с решением многих социальных и экологических проблем и характеризуется высоким уровнем износа. В городском округе г. Переславль-Залесский большая часть дорожной инфраструктуры построена во времена СССР, где расчет на тотальную автомобилизацию (от личного транспорта до грузоперевозок) практически не планировался. На данный момент транспортная сеть практически полностью построена на использовании автомобильного транспорта. Ремонтная база местного автотранспортного предприятия

сформировалась в прошлом веке и сегодня экономически и энергетически неэффективна из-за большого количества потерь, даже с учетом, что централизованное отопление при существующей структуре цен является наиболее дешевым. Пассажирские перевозки осуществляются дизельными автобусами среднего класса ПАЗ-320412. На момент написания статьи транспорт совместного пользования, как альтернатива личному автомобильному транспорту отсутствует: каршеринг отсутствует, прокат велосипедов присутствует, но без единого приложения для пользователя и непомерно высокой стоимостью (200 руб./час) при сопоставлении с расходами на пользование автомобильным транспортом.

К сожалению, в плановых документах развития городского округа г. Переславль-Залесский преобладают технические меры по дорожному строительству и эксплуатации дорог, а также мероприятия административного характера, направленные на реорганизацию и оптимизацию системы муниципального управления. Такой узко технократический подход к транспортному планированию, реализуется, как правило, без глубокого изучения экологических факторов и рисков, без учета реальных предпочтений местных жителей. Поэтому в длительной перспективе он не только не результативен с позиций выполнения целей устойчивого развития (ЦУР), но и экономически затратен, поскольку не учитывает многие реальные экологические и природные риски развития.

Выводы

Чтобы избежать угрозы транспортного коллапса в городском округе г. Переславль-Залесский целесообразно создавать более безопасные, чистые, эффективные и устойчивые транспортные системы, чем используются сегодня. На устойчивость транспорта влияют социально-экономические, демографические и экологические мегапроцессы, а также местные географические условия, включая особенности исторической эволюции развития транспортной системы [7]. Внедрение ESG-подходов, интегрированных в устойчивый экосистемный дизайн (пространственное планирование и проектирование) – важный элемент перехода к созданию устойчивой и качественной инфраструктуры в городском округе г. Переславль-Залесский. Существенное внимание следует уделить применению наилучших природно-совместимых решений для снижения углеродного следа. С данным подходом к транспортному вопросу для улучшения и планирования развития целесообразен пересмотр требований к транспортным средствам. В ближайшей перспективе актуальным можно считать вопрос о переводе пассажирского транспорта на газомоторное топливо и, соответственно, развитие инфраструктуры (заправки, боксы ТО). Для развития туристической привлекательности требует разработки система средств индивидуальной мобильности (СИМ) по городу. Учитывая, что население района меняется за счет интереса к местности жителей г.

Москвы и Московской области, которые более заинтересованы в развитой инфраструктуре и природно-совместимых решениях, требуется комплексный подход к теме СИМов (Разработка приложения проката, постройка туристических маршрутов, создание велопарковок и выделенных дорожек и др.) Для повышения эффективности ESG-подхода применительно к строительству и развитию транспортной инфраструктуры и обеспечивающего устойчивое развитие территории на поколения вперёд, предстоит не только совершенствовать нормативную базу в области дорожного и транспортного строительства и пространственного развития, но и обеспечить переподготовку специалистов в области строительства и развития дорожной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. «Мобильность». Обзор результатов 2017. URL: <https://www.vsemirnyjbank.org/ru/results/2017/12/01/mobility>
2. United nations. Transport for Sustainable Development The case of Inland Transport, 2015.
3. United Nations. Sustainable transport, sustainable development. Interagency report for second Global Sustainable Transport Conference, 2021.
4. Nature Risk Rising: Why the Crisis Engulfing Nature Matters for Business and the Economy / World Economic Forum January 2020. URL: <https://www.weforum.org/reports/nature-risk-rising-why-the-crisis-engulfing-nature-matters-for-business-and-the-economy>
5. ВЭБ. РФ Устойчивое развитие и инфраструктура. Обзор трендов в России и мире, 2021.
6. Di Dong, Na Cui, Designing the location of an emergency supply facility in a disaster environment: new modeling techniques and algorithms // Journal of Physics: Conference Series, 2021.
7. ESG-принципы: что это такое и зачем компаниям их соблюдать. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/614b224f9a7947699655a435>
8. Раздел «Транспорт». Обзор. URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/transport/overview#1>
9. Фоменко Г.А. Профессиональный консалтинг, планирование и проектирование пространственного развития при нарастании неопределенностей и рисков / Г.А. Фоменко, М.А. Фоменко // Стратегические решения и риск-менеджмент, 2021. №4/2020. С.366-377.
10. Саук Т.П. Применение принципов «зеленого» финансирования в инвестиционных проектах предприятий транспортного комплекса / Т.П. Саук, Р.Г. Лободина // Инновационное развитие экономики. 2021. №6(66).

КЛЮЧЕВЫЕ РАЗРАБОТКИ КОМПАНИИ GENERAL MOTORS ЗА ПОСЛЕДНИЕ 30 ЛЕТ

Д.С. Ражев, А.М. Фиронов

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

Московский политехнический университет

Рассматриваются конкретные системы и автомобили, повлиявшие на развитие автоконцерна GeneralMotors.

Ключевые слова: General Motors, GM EV1, Chevrolet Volt, Voltec, Chevrolet Spark EV, Chevrolet Bolt EV, GMC Hummer EV, CrabWalk, Chevrolet Camaro, Chevrolet Corvette C8

IMPORTANT DEVELOPMENTS OF GENERAL MOTORS OVER THE PAST 30 YEARS

D.S. Razhev, A.M. Fironov

Scientific Supervisor - **A.M. Fironov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Moscow Polytechnic University

This article examines specific systems and vehicles that influenced the development of the General Motors automaker.

Keywords: General Motors, GM EV1, Chevrolet Volt, Voltec, Chevrolet Spark EV, Chevrolet Bolt EV, GMC Hummer EV, CrabWalk, Chevrolet Camaro, Chevrolet Corvette C8

Мы живём в эпоху электрификации автомобилей, в переходный период между бензиновым прошлым и электрическим будущим, к которому стремятся автомобильные компании. И поскольку лицо автоконцерна – это его автомобили, мы можем проследить, как под воздействием разных факторов меняется продукция производителя. Мы можем узнать, как у производителя получается отвечать современным трендам, на какие риски и компромиссы приходится идти. Мы можем перенять небольшую часть опыта, полученного менеджерами, инженерами, дизайнерами и маркетологами. Это опыт прогнозирования будущих тенденций, выявления вероятных неудач, нахождения эффективных решений.

GM EV1 (Electrical Vehicle 1). Первый серийный электромобиль GM
Electrical Vehicle 1 появился в качестве концепта в 1990 году. Дальнейшее развитие модели, как и остальных американских электромобилей, было связано с экологическими требованиями Калифорнийского Совета по Воздушным Ресурсам. В общей сложности было произведено 1117 единиц EV1.

Аккумуляторные батареи в форме буквы Т расположены довольно высоко, если сравнивать с современными батареями электромобилей, находящимися как можно ниже и занимающими всю площадь днища. Изначально устанавливались свинцово-кислотные аккумуляторы на 112 км за один заряд, затем – на 160 км. С 1999 года устанавливались никель-

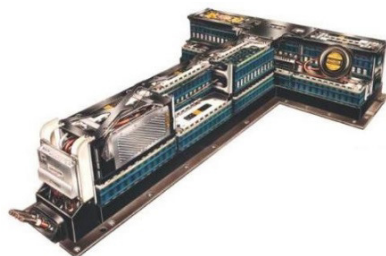


Рис. 1. Аккумулятор GM EV1

металлогидридные аккумуляторы на 224 км. В качестве двигателя выступал трёхфазный электромотор мощностью 138 л.с., с диапазоном оборотов 7000–14000 об/мин; трансмиссия – двухступенчатый редуктор. Кузов из алюминиевого сплава, весом 132кг, имел коэффициент лобового сопротивления (C_x) всего 0,195. Максимальная скорость была ограничена на 128 км/ч, а до 100 км/ч EV1 разогнался за 9 секунд.

В 2003 большая часть автомобилей была изъята у арендаторов и уничтожена. Основной причиной тому являлись крупные убытки GM, связанные с моделью. Спрос оказался небольшим, так как потребителю 2-местный маленький EV1 со специфичным дизайном и передовой электроникой сомнительной надёжности не казался практичным. Также технология аккумулятора не была совершенна и часто выходила из строя, что могло привести в дальнейшем к человеческим жертвам и судебным разбирательствам. В 2003 экологические нормы были изменены, и концерн больше не нуждался в EV1 [1].

Для General Motors и всего автопрома выпуск и распространение EV1 стали ответом на вопрос, насколько покупатель заинтересован в электромобиле, как электромобиль должен выглядеть, как должен обслуживаться и сколько стоить. Следующим серийным электромобилем GM стал в 2010 Chevrolet Volt, устройство которого имеет сходства с EV1.

Chevrolet Volt

Chevrolet Volt (Vauxhall Ampera/Opel Ampera/Holden Volt/ Buick Velite 5) – первый в мире массовый подключаемый гибрид или электромобиль с увеличенным запасом хода. В качестве концепта появился в 2007,

первое поколение производилось в 2010–2015, второе – 2016–2019. Разрабатывался как конкурент гибридной Toyota Prius.

Voltec (МКА 4ЕТ50) – автоматическая трансмиссия, принцип работы которой заключается в питании электромотора от аккумуляторов и, затем, от электрогенератора, получающего энергию из ДВС. Volt-электромобиль, так как механическую работу над колёсами совершает только электромотор. GMEV1 и Chevrolet Volt роднило расположение батарей, а также их Т-образная форма. Изначально Volt едет полностью на заряде аккумулятора

(литий-ионный, до 61 км в 1-м поколении и до 85 км во 2-м). Во время нагрузки, через трансмиссию подключается генератор, питающийся от аккумулятора, вращая колёса вместе с основным электромотором. Когда энергия, выделенная на движение, кончается, подключается ДВС (4 цилиндра, 1.4/1.5 л) – его механическая энергия сообщается генератору. Тогда электроэнергия от генератора идёт либо на электромотор, либо в аккумулятор. Максимальная скорость была ограничена на 160 км/ч, а до 100 км/ч Volt разогнался до 9.2 секунд [2].

Производство Chevrolet Volt было прекращено в 2018, так как американский (основной) рынок терял интерес лифтбекам и седанам. Также большинство покупателей использовали Volt, в основном, как электро-мобиль, подзаряжая аккумулятор от электросети и не используя вспомогательный ДВС. Это является одной из причин, по которой GM и другие автопроизводители отказываются от гибридов и переходят на полностью электрические модели.

Chevrolet Spark EV

Chevrolet Spark EV (2013-2016) – электрифицированная версия бензинового Chevrolet Spark третьего поколения. Укомплектовывался литий-железо-фосфатным аккумулятором, затем – литий-ионным меньшего объёма. Пробег на одном заряде – до 132 км. Отличился динамическими характеристиками: электродвигатель имел мощность 130 л.с. и крутящий момент 542 Нм, что дало разгон до 100 км/ч всего за 7.7 секунд. КПП – автоматическая, планетарный редуктор [3].

Spark EV оказался лишь временным решением для удовлетворения эконом. В 2016 он был заменён на Chevrolet Bolt EV, полностью разработанный с нуля электромобиль. Однако Spark EV не остался незамечен-

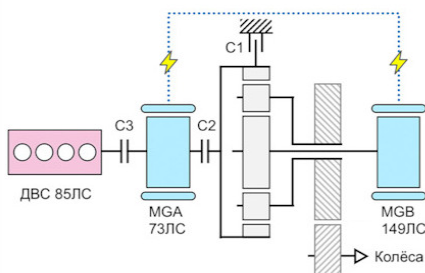


Рис. 2. Трансмиссия МКА 4ЕТ50:
MGA и MGB – мотор-генераторы

ным среди автолюбителей, во многом благодаря своей динамике. Таким образом, он обратил внимание общества на преимущество электрических силовых установок.

Chevrolet Bolt EV

Chevrolet Bolt EV (Opel/Vauxhall Ampera-e) – электрический хэтчбек, поступил в продажу в 2016, с 2021 продаётся перелицованная версия. Bolt EV стал действительно массовым, продаваясь во всех штатах и в Европе. Аккумуляторы Bolt EV расположены по всей плоскости днища, что даёт автомобилю низкий центр тяжести и хорошую управляемость. В 2021 вышел новый Bolt EUV (Electrical Utility Vehicle), который позиционируется как увеличенная и более проходимая версия Bolt EV. Его пробег на одном заряде меньше, чем у EV: 398 км против 410 км.

GMC Hummer EV

GMC Hummer EV – один из самых громких и ожидаемых автомобилей за последнее время, в продажу поступил в декабре 2021 года. Марка Hummer, как один из брендов GM, была упразднена в 2010 году из-за убыточности подразделения. Новый Hummer EV сохранил узнаваемые стилистические черты предшественников, но стал полностью электрическим. Опционально устанавливаются два или три электромотора. Мощность варьируется от 625 л.с. до 1000 л.с., пробег на одном заряде – от 400 до 529 км, разгон до 100 км/ч в максимальной комплектации – 3 секунды. Самой главной возможностью Hummer EV является Crab Walk: задние и передние колёса поворачиваются в одну сторону, что позволяет автомобилю двигаться по диагонали для преодоления препятствий на бездорожье.

Пока что рано судить о коммерческом успехе GMC Hummer EV, но можно точно сказать, что своими разработками и анонсами (GM анонсировали 30 новых моделей электромобилей к 2025) компания стремится привлечь к себе внимание всё большего числа потребителей и акционеров. С 2015 акции GM выросли в цене в 1.7 раз. Также General Motors создают себе имя производителя электромобилей для дальнейшей конкуренции на развивающемся рынке.

Chevrolet Camaro (5 поколение)

В 2006 году был представлен концепт нового Camaro. Производился с 2009 по 2015. В качестве силовой установки предлагались каноничные американские бензиновые V6 на 3.6 л, 5.3 л, V8 на 6.2 л, 7л; КПП – автоматическая и механическая, 6-ступенчатая [4].

Отличительной чертой данного поколения, как и у конкурирующих Dodge Challenger и Ford Mustang, была возрождённая внешность самой первой модели, появившейся в 1966. Этот шаг можно назвать смелым, так как обычно потребитель не принимает радикальных изменений в дизайне. С 2015 года производится 6-е поколение Camaro, которое

вслед за 5-м сохраняет отличительные черты классической модели, что не может не говорить об успехе такого решения.

Chevrolet Corvette C8

Первый Corvette C1 появился в продаже ещё в 1953, но, начиная со 2-го поколения, инженеры считали возможным и необходимым внедрение среднемоторной компоновки для улучшения развесовки автомобиля и, следовательно, его управляемости. С 1 по 7 поколения отличительной чертой Corvette был длинный капот с двигателем спереди, но в 2019 было представлено 8 поколение со средним расположением двигателя. General Motors объяснили данное решение тем, что возможности переднемоторной компоновки исчерпаны [5].

Представлены 2 модели двигателя с модификациями: V8 на 6.2 л/ 490-495 л.с./630 Нм и V8 на 5.5 л/ 670 л.с./ 624 Нм. 1 трансмиссия – 8-ступенчатая РКПП. До 100 км/ч Corvette C8 способен разогнаться до 2.9 секунд.

Стоит отметить, что General Motors сделали важный, но рискованный шаг, изменив суть одного из своих самых узнаваемых автомобилей. GM используют возможность развивать старые идеи и экспериментировать, что также приведёт в дальнейшем к новым разработкам и новым нишам на рынке.



**Рис. 3. Chevrolet Camaro
5-го и 1-го поколений**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *William C. Cantu*. EV1 Behind the Scene – Our Sole Mission // EV1. 2016. URL: <http://www.ev1.org>. (Дата обращения: 12.03.2022).
2. 2011 Chevrolet Volt // Chevrolet. 2010. URL: <https://web.archive.org/web/20110208150059/http://www.chevrolet.com:80/volt/features-specs> (Дата обращения: 12.03.2022).
3. *Eric Loveday*. 2014 Chevy Spark EV Gets EPA Range Rating of 82 Miles; 119 MPGe Combined // INSIDEEVs. 2013. URL: <https://insideevs.com/news/317730/2014-chevy-spark-ev-gets-epa-range-rating-of-82-miles-119-mpge-combined> (Дата обращения: 12.03.2022).
4. The 2011 Camaro // Chevrolet. 2010. URL: <https://web.archive.org/web/20110208170301/http://www.chevrolet.com/camaro-family> (Дата обращения: 12.03.2022).
5. *David Tracy*. Here's A Detailed Look At The 2020 Corvette C8's Impressive Engineering // Jalopnik. 2019. URL: <https://jalopnik.com/heres-a-detailed-look-at-the-2020-corvette-c8s-impressi-1836540969> (Дата обращения: 12.03.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

М.Э. Слисенко, 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. 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

M.E. Slisenko, 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 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 различных климатических условиях (мокрый асфальт, заморозки, ветреная погода, сухой асфальт).

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]. Среди всего прочего, на боковой увод существенное влияние оказывает давление в шинах автомобиля.

В рамках проведения данной работы было проведено несколько серий экспериментов, на основании которых была выявлена зависимость между самопроизвольным отклонением транспортного средства от заданной водителем траектории и давлением в шинах автомобиля.

Для проведения исследований был выбран автомобиль VW Passat в кузове 3B5, 1998 г.в., универсал, пробег – 258000 км. Автомобиль в технически исправном состоянии.

На автомобиле устанавливались зимние шины Dunlop Winter maxx WM01, размерностью 195/65R15 91T и летние шины Michelin Energy e3a, размерностью 195/65R15 91H.

Износ шин равномерный, в установленных пределах.

Методика проведения эксперимента: на ровном участке дороги автомобиль разгонялся до скорости 60 км/ч в режиме прямолинейного движения.

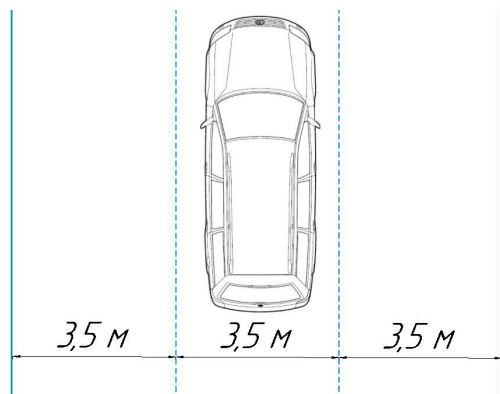


Рис. 1. Схема участка дороги

При проезде метки начала эксперимента на дороге, коробка перемены передач переводилась в нейтральное положение, руль не удерживался. Как только автомобиль приближался к краю проезжей части, производилась остановка и измерение смещение автомобиля относительно центра, а также дистанция до метки начала эксперимента.

Для выявления не учтённых факторов, первые заезды проводились с одинаковым штатным давлением во всех шинах 2.2 атм. (зимние шины) и 2.1 атм. (летние шины) соответственно. Боковой увод практически отсутствует.

На рис. 2 представлены схемы давления в шинах в атмосферах для каждого эксперимента, проведённого на зимней резине. Заезды на летних и зимних шинах проводились по три раза с вычисленным средним значением.

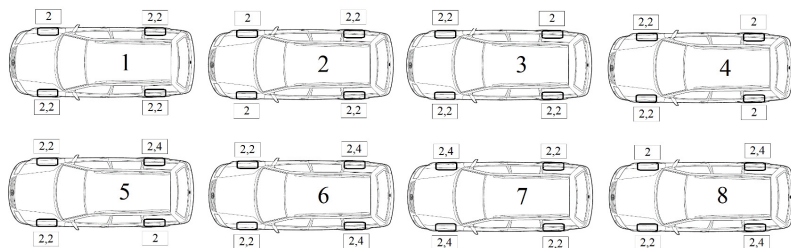


Рис. 2. Схема давления в шинах для экспериментов №1-8

На рис. 3 представлены схемы давления в шинах в атмосферах для каждого из экспериментов, проведённых на летней резине.

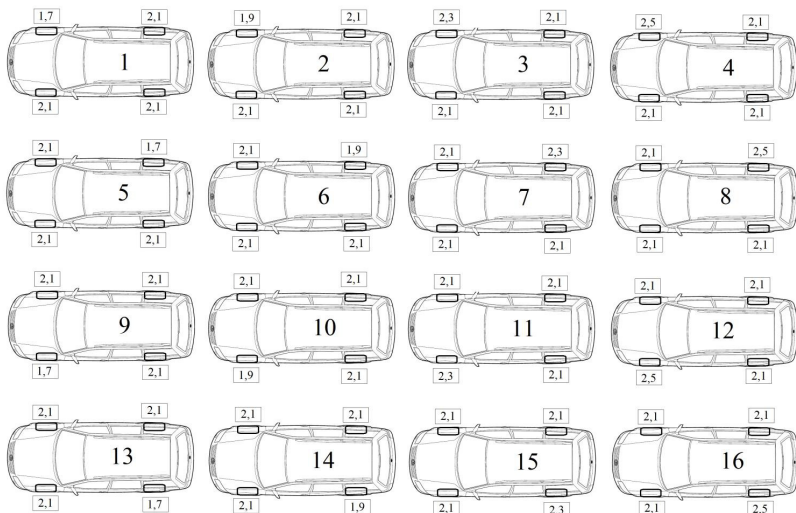


Рис. 3. Схема давления в шинах для экспериментов №1-16

Результаты заездов сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1 . Результаты экспериментов, проведенных на зимних шинах

№ эксперимента	Направление увода	Величина увода, м	Дистанция, м
1	влево	3,5	300
2	влево	3,5	125
3	вправо	3,5	312,5
4	вправо	3,5	130
5	влево	3,5	250
6	влево	3,5	175
7	вправо	3,5	260
8	вправо	3,5	190

В таблице 2 представлены результаты измерений, проведенных на летних шинах Michelin Energy e3a 195/65R15 91H.

Таблица 2. Результаты экспериментов, проведенных на летних шинах

№ эксперимента	Направление увода	Величина увода, м	Дистанция, м
1	влево	3,5	
2	влево	2	
3	вправо	1,75	
4	вправо	3,5	
5	вправо	3,5	
6	вправо	2	
7	влево	2	
8	влево	3,5	
9	влево	3,25	
10	влево	1,75	
11	вправо	1,5	
12	вправо	3,25	
13	вправо	3,25	
14	вправо	1,75	
15	влево	1,5	
16	влево	3,5	

На основании полученных данных, для опытов с летней резиной, были построены следующие графики зависимости величины самопроизвольного бокового увода автомобиля от давления в шинах и произведена их аппроксимация [2].

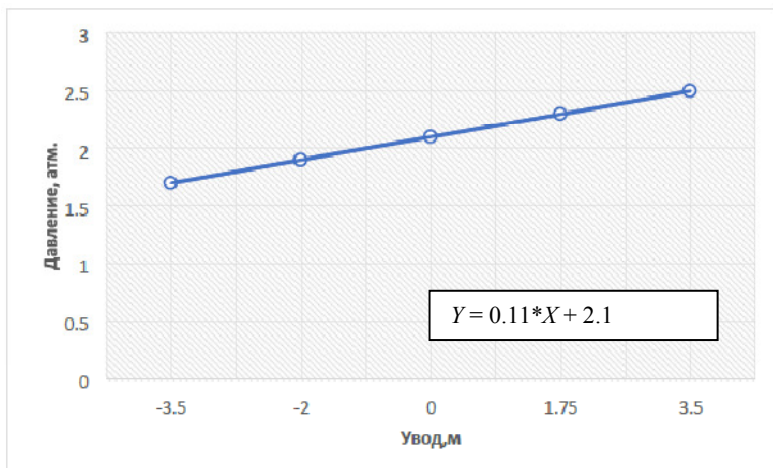


Рис. 4. Зависимость бокового увода автомобиля от изменения давления в переднем левом колесе

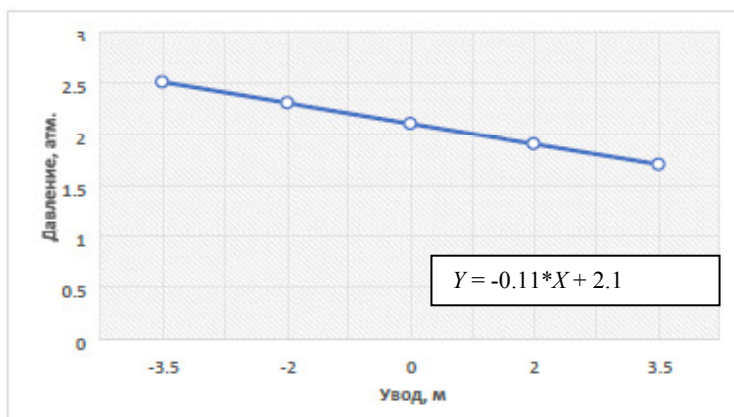


Рис. 5. Зависимость бокового увода автомобиля от изменения давления в переднем правом колесе

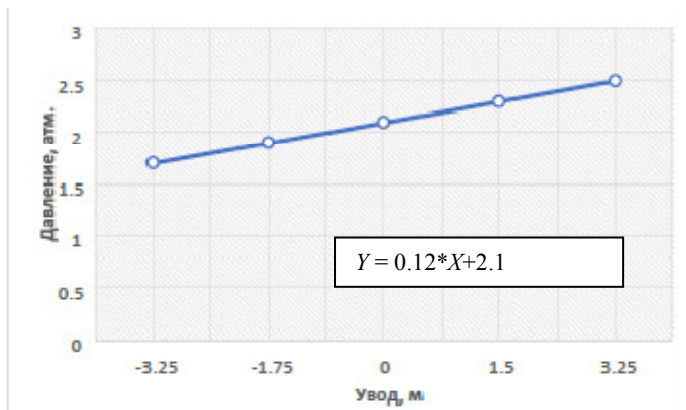


Рис. 6. Зависимость бокового увода автомобиля от изменения давления в заднем (ведущем) левом колесе

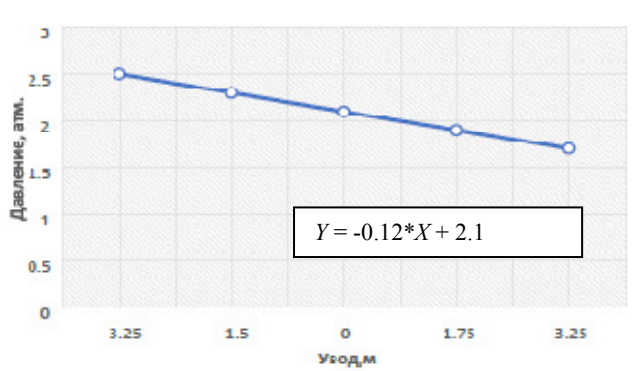


Рис. 7. Зависимость бокового увода автомобиля от изменения давления в заднем (ведущем) правом колесе

После проведения серии экспериментов и соответствующих расчётов, на основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

- Давление в шинах автомобиля неизбежно влияет на его управляемость;
- При пониженном давлении в шинах возрастает значение сопротивления качению колеса по дорожному полотну, а при повышенном – наоборот;
- Если давление в отдельно взятых шинах автомобиля, выше или ниже нормального, то оно неизбежно влечёт за собой самопроизвольное отклонение транспортного средства от задаваемой водителем траектории;

- Самопроизвольный боковой увод автомобиля происходит всегда в сторону колёс, чьё суммарное значение давлений ниже, чем с другой стороны;

- Изменение давления в шинах влечёт за собой ощутимое изменение управляемости. Если колёса перекачаны, автомобиль легче «рулится», но имеет более высокую склонность к возникновению заноса.

Если давление во всех шинах автомобиля ниже нормы, то автомобиль начинает «плавать» по дороге на ходу, а также затрудняется поворот рулевого колеса на месте;

- Систематически неверно установленное давление в шинах со временем приводит к неравномерному и преждевременному износу покрышек.

Для корректного поведения автомобиля на дороге, для обеспечения безопасности движения и увеличения срока службы покрышек необходимо неукоснительно соблюдать рекомендации завода-производителя о значениях давления в шинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Причины увода автомобиля от прямолинейного движения. URL: <http://100autoremont.ru/poleznaya-informaciya/prichiny-uvoda-avtomobilya-ot-pryamolejnjnogo-dvizheniya> (дата обращения: 17.09.2020).
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.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

П.А. Горячев, 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. Определены основные зависимости изменения поведения автомобиля на дороге от давления в шинах, связанное 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

P.A. Goryachev, 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 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 самопроизвольный боковой увод, в различных условиях (заморозки, мокрый асфальт, сухой асфальт, ветреная погода).

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]. Среди всего прочего, на боковой увод существенное влияние оказывает давление в шинах автомобиля.

В рамках проведения данной работы было проведено несколько серий экспериментов, на основании которых была выявлена зависимость между самопроизвольным отклонением транспортного средства от заданной водителем траектории и давлением в шинах автомобиля.

Для проведения исследований был выбран автомобиль VW Jetta Mk.4, 2000 г.в., седан, пробег – 230000 км. Автомобиль в технически исправном состоянии.

На автомобиле устанавливались ошипованные шины Nokian Nordman 5 размерностью 195/65 R15 и летние шины Hankook Ventus V12 evo 2 размерностью 195/55 R15.

Dunlop Wintermaxx WM01, размерностью 195/65R15 91T и летние шины Michelin Energy e3a, размерностью 195/65R15 91H.

Износ шин равномерный, в установленных пределах.

Методика проведения эксперимента: на ровном участке дороги автомобиль разгонялся до скорости 60 км/ч в режиме прямолинейного движения (рис. 1).

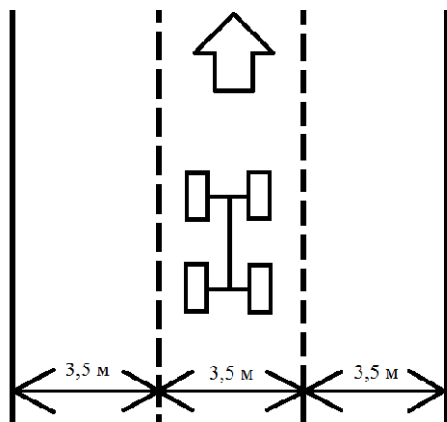


Рис. 1 . Схема участка дороги

При проезде метки начала эксперимента на дороге, коробка перемены передач переводилась в нейтральное положение, руль не удерживался. Как только автомобиль приближался к краю проезжей части, производилась остановка и измерение - смещение автомобиля относительно центра, а также дистанция до метки начала эксперимента.

Для выявления не учтённых факторов, первые заезды проводились с одинаковым штатным давлением во всех шинах 2.2 атм. (зимние шины) и 2.1 атм. (летние шины) соответственно. Боковой увод практически отсутствует.

На рис. 2 представлены схемы давления в шинах в атмосферах для каждого эксперимента, проведённого на зимней резине.

Заезды на летних и зимних шинах проводились по три раза с вычислением среднего значения.

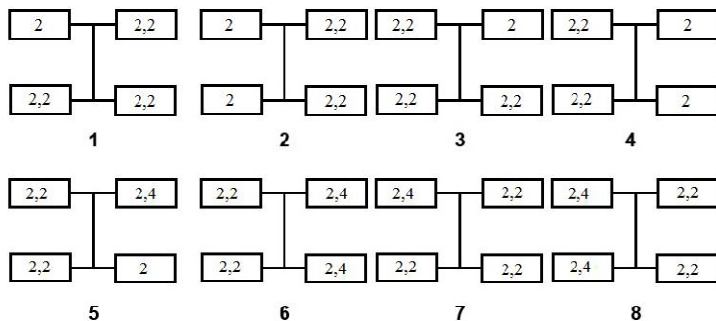


Рис. 2. Схема давления в шинах для экспериментов №1-8

На рис. 3 представлены схемы давления в шинах в атмосферах для каждого из экспериментов, проведённых на летней резине.

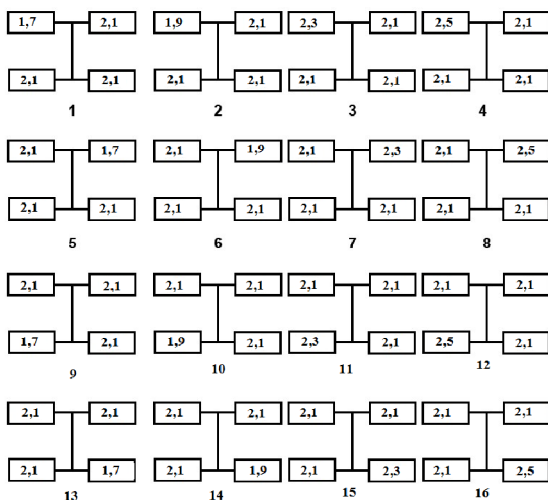


Рис. 3. Схема давления в шинах для экспериментов №1-16

Результаты заездов сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1. Результаты экспериментов

№ эксперимента	Направление увода	Величина увода, м	Дистанция, м
1	влево	3,5	300
2	влево	3,5	125
3	вправо	3,5	312,5
4	вправо	3,5	130
5	влево	3,5	250
6	влево	3,5	175
7	вправо	3,5	260
8	вправо	3,5	190

В таблице 2 представлены результаты измерений, проведенных на летних шинах.

Таблица 2. Результаты экспериментов

№ эксперимента	Направление увода	Величина увода, м	Дистанция, м
1	влево	3,5	100
2	влево	2	100
3	вправо	1,75	100
4	вправо	3,5	100
5	вправо	3,5	100
6	вправо	2	100
7	влево	2	100
8	влево	3,5	100
9	влево	3,25	100
10	влево	1,75	100
11	вправо	1,5	100
12	вправо	3,25	100
13	вправо	3,25	100
14	вправо	1,75	100
15	влево	1,5	100
16	влево	3,25	100

На основании полученных данных, для опытов с летней резиной, были построены следующие графики зависимости величины самопроизвольного бокового увода автомобиля от давления в шинах и произведена их аппроксимация [2].

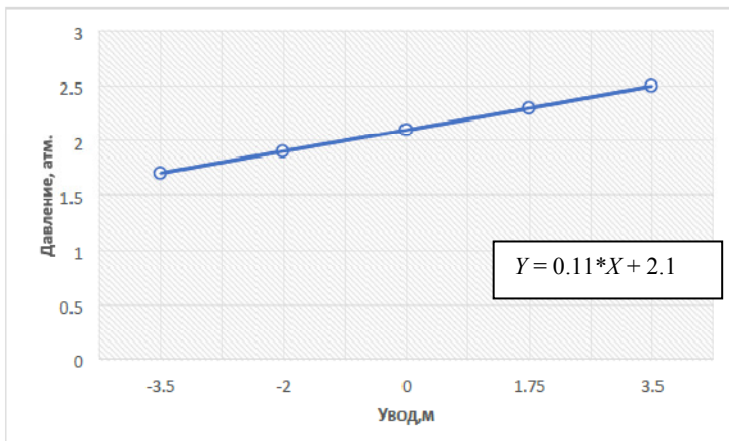


Рис. 4. Зависимость бокового увода автомобиля от изменения давления в переднем левом колесе

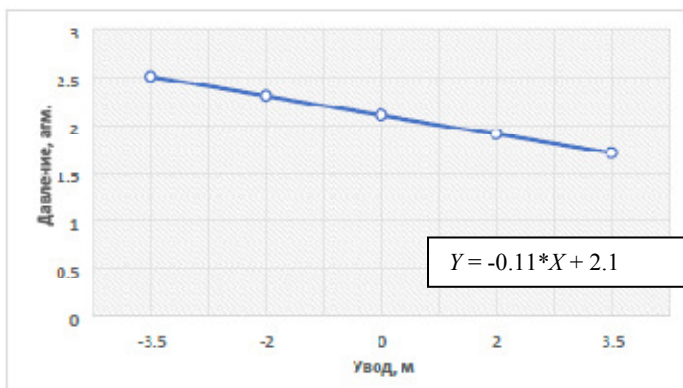


Рис. 5. Зависимость бокового увода автомобиля от изменения давления в переднем правом колесе

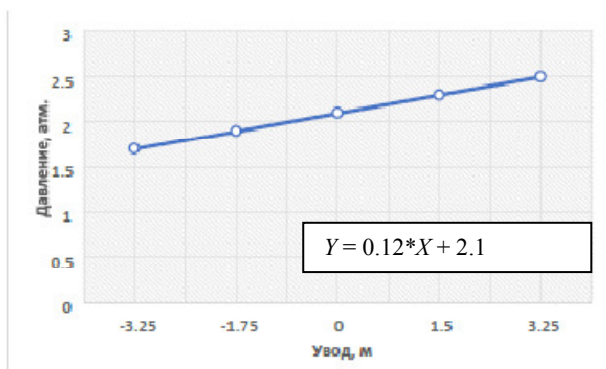


Рис. 6. Зависимость бокового увода автомобиля от изменения давления в заднем (ведущем) левом колесе

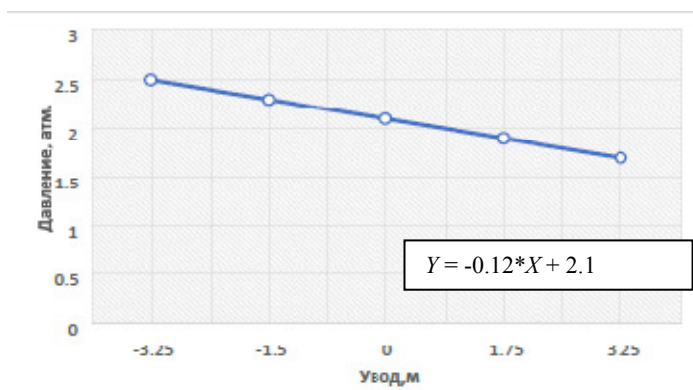


Рис. 7. Зависимость бокового увода автомобиля от изменения давления в заднем (ведущем) правом колесе

После проведения серии экспериментов и соответствующих расчётов, на основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

- Давление в шинах автомобиля неизбежно влияет на его управляемость;
- Если давление в отдельно взятых шинах автомобиля, выше или ниже нормального, то оно неизбежно влечёт за собой самопроизвольное отклонение транспортного средства от задаваемой водителем траектории;
- Самопроизвольный боковой увод автомобиля происходит всегда в сторону колёс, чьё суммарное значение давлений ниже, чем с другой стороны;

- Изменение давления в шинах влечёт за собой изменение управляемости.

Для корректного поведения автомобиля на дороге и для обеспечения безопасности движения необходимо неукоснительно соблюдать рекомендации завода-производителя о значениях давления в шинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Причины увода автомобиля от прямолинейного движения. URL: <http://100autoremont.ru/poleznaya-informaciya/prichiny-uvoda-avtomobilya-ot-pryamolinejnogo-dvizheniya> (датаобращения: 17.09.2020).
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.

ВЛИЯНИЕ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

А.А. Пикулин, А.М. Канаев

Научный руководитель – **А.М. Канаев**, преподаватель

Ярославское высшее военное училище ПВО

Дается оценка вредного воздействия выхлопных газов дизельного двигателя на человека, а также сравнение содержания токсических веществ в бензиновых и дизельных двигателях.

***Ключевые слова:** здоровье, бензиновый и дизельный двигатель, токсичные вещества, экология, сажевый фильтр*

THE EFFECT OF DIESEL ENGINE EXHAUST GASES ON THE ENVIRONMENT

A.A. Pikulin, A.M. Kanaev

Scientific Supervisor – **A.M. Kanaev**, Senior Lecturer

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The assessment of the harmful effects of diesel engine exhaust gases on humans is given, as well as a comparison of the content of toxic substances in gasoline and diesel engines.

***Keywords:** health, gasoline and diesel engine, toxic substances, ecology, particulate filter*

В последние годы в Европейских странах усилилось давление экологов на производителей дизельных двигателей. Связано это якобы с укоренившимся мнением о том, что дизельные двигатели наносят большой вред окружающей среде и здоровью человека.

В вооружённых силах РФ подавляющее большинство транспорта и передвижной военной техники используют дизельные двигатели. Всего по данным аналитического агентства «АВТОСТАТ» в России насчитывается 3,78 млн грузовых автомобилей (по состоянию на 1 января 2020 года). Из них 69,5% от общего парка грузовых машин являются дизельными. Но экологическим стандартам «Евро-4» (и выше) соответствует толь-

ко 19,8% таких автомобилей. Самый крупный из региональных парков грузовой техники находится в Москве, где числится 160,3 тыс. экземпляров. В Московской области, которая на втором месте рейтинга, насчитывается еще 155,8 тыс. единиц. Поэтому конечно опасения экологов не обосновательны. Но какой именно вред оказывают дизельные двигатели? Насколько они опаснее бензиновых? Какие меры принимаются для снижения уровня опасности и стоит ли ожидать запретов на эксплуатацию дизельных двигателей? Попытаемся разобраться в этих вопросах.

На самом деле, если посчитать количество легковых автомобилей с дизельными двигателями, то в России их насчитывается чуть более 2,4 млн. Это всего лишь 5% от всего парка легковых авто. Соответственно урон экологии существенно могут нанести именно автомобили бензинового класса.

Рассмотрим в сравнении объёмное содержание токсичных веществ в отработанных газах бензиновых и дизельных двигателей (табл. 1).

Таблица. 1. Объёмное содержание токсичных веществ в отработанных газах двигателей (%)

Вредные вещества	Бензиновый двигатель	Дизельный двигатель
Окись углерода (CO)	0,1 – 10	0,01 – 0,5
Окись и двуокись азота (NO, NO ₂)	0,1 – 0,5	0,001 – 0,4
Двуокись серы (SO ₂)	0,0 – 0,003	0,0 – 0,03
Сажа	0,04	0,01 – 1,1
Недогоревшие углеводороды (C _x H _y)	0,2 – 3,0	0,009 – 0,5
Альдегиды	0,0 – 0,2	0,01 – 0,09
Бензапирен	до 0,02	до 0,01

Как видно из таблицы всё-таки по многим параметрам выхлопные газы бензиновых двигателей превышают аналогичные выбросы дизельных. А по количеству угарного газа (CO), бензиновые просто опасны, в то время как дизельные по выбросам CO мало приносят вреда.

Единственное, в чём могут превосходить дизельные двигатели, так это по выбросам двуокиси серы и сажи и то при определённых условиях и режимах работы.

Двуокись серы, поступая с отработанными газами в воздух, превращается в SO₃ (сернистый ангидрид). Химическая реакция с парами воды преобразует ангидрид в серную кислоту. Кислота наносит огромный вред растениям, животным, здоровью человека. Усиливает процессы коррозии металлов.

Сажа негативно влияет на окружающую среду. Попадание сажи в организм человека сопровождается сильным раздражением органов дыхания. Взвешенные частицы сажи снижают видимость на автодорогах, оседают на поверхностях транспортных средств, на коже человека, перенося на себе углеводородные канцерогены.

Однако исследования учёных показывают, что выхлопные газы дизельных двигателей очень вредны для здоровья. Помимо газов и паров, выхлопные газы содержат мельчайшие частицы, которые образуются в процессе сгорания и последующей конденсации соединений газовой фазы. Эти частицы состоят из элементарного углерода, адсорбированных органических соединений, сульфатов, нитратов и следов других элементов. Выхлопные частицы дизельного топлива легко вдыхаются. Благодаря небольшому размеру частицы могут достигать легочных альвеол, чувствительной газообменной области легких.

Воздействие выхлопных газов дизельного двигателя может вызвать раздражение глаз, носа и горла, а также неприятные запахи. У добровольцев, подвергшихся относительно высокому уровню выхлопных газов дизельного топлива, обнаружена легкая воспалительная реакция и раздражение дыхательных путей. Помимо респираторного эффекта, в исследованиях наблюдались изменения в функции кровеносных сосудов. Кроме того, исследования связывают загрязнение окружающего воздуха, особенно твердыми частицами, с развитием хронических сердечно-сосудистых заболеваний.

Имеются также ограниченные эпидемиологические данные, связывающие облучение выхлопными газами дизельных двигателей с повышенной заболеваемостью раком мочевого пузыря. Поскольку выхлопные газы дизельного топлива являются генотоксичными для бактерий и клеток млекопитающих, Международное агентство по изучению рака (МАИР) пришла к выводу, что выхлопные газы дизельного топлива могут вызывать рак из-за его генотоксичности.

Помимо того, в отработавших газах (ОГ) дизелей присутствуют частицы металлов, образующиеся в результате износа деталей двигателя и горения масла, попадающего в камеру сгорания. Все они способны притягиваться к частицам сажи, в состав которых и так входят углеводороды, обладающие повышенным мутагенным и канцерогенным действием.

В связи повышенной агрессивностью твердых частиц (ТЧ), Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН), действующая на основании Женевского соглашения, приняла в 1993 году правила № 49 для грузовых автомобилях, а в 2009 году правила № 83 для легковых автомобилей, где были введены нормы на выброс ТЧ (табл. 2).

Таблица 2. Нормы на выброс вредных веществ (Правила № 49 ЕЭК ООН)

Нормы	Год введения		ТЧ, г/кВт·ч
	Европа	Россия	
EURO 3	2000	2008	0,10
EURO 4	2005	2010	0,02
EURO 5	2008	2014	0,02
EURO 6	2013	2018	0,01

И, несмотря на это, в 2012 году Всемирная организация здравоохранения вышла с предложением о запрете эксплуатации автомобилей с дизелем в европейских городах. Причиной этому послужило значительное количество ТЧ в ОГ дизеля.

При всём при этом, имея множественные позитивные качества дизельного двигателя, такие как экономичность, высокий крутящий момент, дешевое топливо – отказаться от его применения невозможно. Достойной замены тяжёлому мощному дизелю пока не найдено. Заводы были вынуждены отзываться свои автомобили по причине несоответствия жёстким экологическим нормативам. Это подорвало доверие потребителей, пересмотревших свои предпочтения в пользу бензиновых агрегатов. Спрос на дизельные агрегаты упал, автозаводы понесли огромные убытки, были вынуждены переориентироваться на выпуск бензиновых автомобилей. Но конструкторы работают по вопросам экологичности дизельных двигателей, и внедряют новые технологии. Известно, что использование биодизеля вместо или в смеси с ископаемым топливом может умеренно снизить выбросы частиц, суммарных углеводородов и окиси углерода, но в то же время выбросы оксидов азота часто увеличиваются. В целом, выхлопные газы биодизеля содержат меньше генотоксичных полициклических ароматических углеводородов, но больше раздражающих альдегидов и кетонов.

Исследования, позволяющие сравнить старую и новую технологии выхлопных двигателей в отношении различных последствий для здоровья, включая генотоксичность и воспалительные эффекты, будут представлять особый интерес в будущем. Необходима также дополнительная информация о фактических уровнях воздействия на рабочих местах, где используются новые технологии дизельных двигателей.

Анализируя экологическую безопасность дизельного двигателя необходимо в полной мере представлять процессы, которые происходят в камере сгорания и способствуют образованию ТЧ. Востребована математическая модель, которая в полном объеме охватит все физико-химические процессы образования сажи и которую возможно применить уже к существующим моделям дизелей.

На сегодняшний день нет такой единой модели сажеобразования, хотя есть существенные сдвиги в понимании механизма образования сажи. Модели образование сажи в дизеле могут быть классифицированы от полуэмпирических, феноменологических до физико-химических, построенных на уравнениях химической кинетики.

Наибольшее распространение в выпускных системах дизелей получил фильтр в виде матрицы с ячейками изготовленный из керамики (рис. 1).

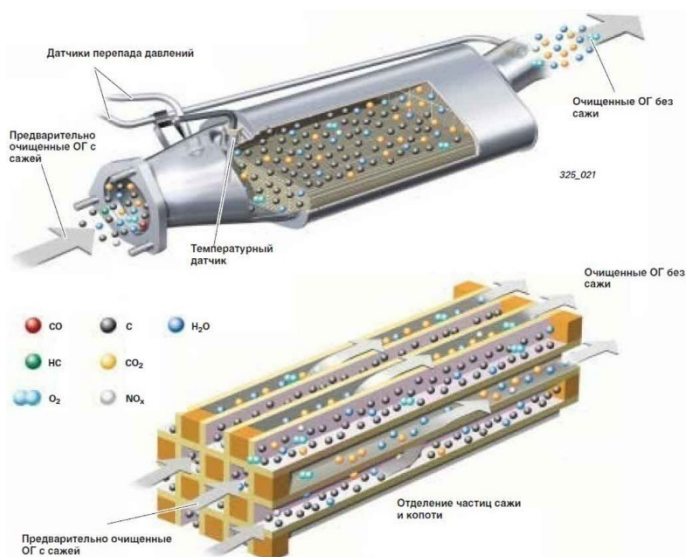


Рис. 1. Схема протока выхлопных газов через керамические элементы сажевого фильтра

На сегодняшний день можно уверенно заявить, что одно из основных направления совершенствования конструкции дизелей будет направленно на его экологические показатели. Разработка «экологически чистого» дизеля требует глубоких и длительных исследований появление такого дизеля предполагается не раньше, чем через 10–15 лет. Но проблема загрязнения окружающей среды ОГ автомобилями требует принятия немедленных мер. Например, установка сажевого фильтра на автомобили уже находящиеся в эксплуатации позволит заметно снизить выброс ТЧ и не потребует больших материальных затрат. В подтверждение этому можно привести пример из опыта борьбы с токсичностью ОГ дизельных автомобилей в Германии. Так, владелец грузовика, установив на него фильтр твердых частиц, не только повышает экологический класс своего

автомобиля, но и получает более широкие возможности передвижения на своем автомобиле по территории населенных пунктов.

Сделать окончательный вывод о том, какой двигатель бензиновый или дизельный на сегодня вреднее невозможно. Комплексных научных обоснований нет. Оба типа моторов постоянно совершенствуются по всем параметрам экологической безопасности. Качество настройки топливной аппаратуры имеет решающее значение для всех типов двигателей.

При оценке степени опасности следует учитывать не только процентный состав вредных веществ, но и их абсолютную массовую составляющую по каждому компоненту. На количество вредных выбросов влияют конструктивные особенности силовых агрегатов, их вспомогательного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горбунов В.В.* Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В.В. Горбунов, Н.Н. Патрахальцев. М.: РУДН, 1998. 214 с.
2. *Марков В.А.* Токсичность отработавших газов дизелей / В.А. Марков, Р.М. Баширов, И.И. Габитов. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. 376 с.
3. *Азаров В.К.* Разработка комплексной методики исследования и оценки экологической безопасности автомобилей: дис. ... канд. техн. наук: 09.08.14 / Азаров Вадим Константинович. М., 2014. 136 с.
4. *Варнатц Ю.* Горение физические и химические аспекты моделирования, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Диббл. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 352 с.
5. *Левтеров А.М.* Анализ математических моделей механизма образования сажи при сжигании углеводородных топлив / А.М. Левтеров, Л.И. Левтерова // Вестник НТУ. 2013. №5. С. 130.
6. *Разлейцев Н.Ф.* Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях. Харьков: Изд-во «Высшая школа», 1980. 169 с.
7. *Кулешов А.С.* Развитие методов расчета и оптимизации рабочих процессов. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. 123 с.
8. *Карабельников С.К.* Снижение дымности отработавших газов дизелей путем научного обоснования, создания и применения сажеуловителей в системе выпуска: дис. ... канд. техн. наук: 2000 / Карабельников Сергей Кимович. СПб., 2000. 158 с.

**ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ОБРАЗЦОВ
ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ
СПЕЦИАЛИСТОВ ВС РФ**

Е.А. Касаткин, А.М. Канаев

Научный руководитель – **А.М. Канаев**, преподаватель

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются способы повышения эффективности работы с новыми образцами техники при обучении специалистов

Ключевые слова: *специалист, военная техника, обучение, подготовка*

**PROBLEMS OF INTRODUCTION OF NEW MODELS
OF MILITARY EQUIPMENT IN THE PROCESS
OF TRAINING SPECIALISTS OF THE ARMED FORCES
OF THE RUSSIAN FEDERATION**

E.A. Kasatkin, A.M. Kanaev

Scientific Supervisor – **A.M. Kanaev**, Senior Lecturer

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The ways of increasing the efficiency of working with new models of equipment in the training of specialists are considered.

Keywords: *specialist, military equipment, training, preparation*

Внедрение новых образцов военной техники в вооруженные силы

В современном мире с каждым годом в вооруженные силы прибывают все новые образцы вооружения и военной техники, при этом возникает проблема обучения и переобучения специалистов на данную технику.

В связи с этим в различных учебных заведениях возникает вопрос о том, как обучать младших специалистов и переобучение старших специалистов на новую технику. Так как прогресс не стоит на месте для решения данной проблемы были созданы различные программы для подготовки специалистов, также разрабатываются разного рода тренажеры и методики обучения. Качество боевой выучки личного состава, степень боевой готовности подразделений, частей и соединений находятся в прямой зависимости от состояния учебной материально-технической базы.

Ее умелое использование позволяет интенсифицировать боевую подготовку войск, сократить сроки и повысить качество подготовки специалистов, сэкономить материальные средства. Учебная материально-техническая база должна соответствовать современным взглядам на выполнение подразделениями их боевых задач, оружию и боевой технике, состоящим на вооружении, задачам обучения всех категорий военнослужащих в соответствии с тематикой курсов и программ боевой подготовки, обеспечивать объективный контроль за качеством выполнения задач боевой подготовки и обладать простотой в процессе учебного использования. В современных условиях это требует усиления роли учебно-тренировочных средств (УТС) в процессе обучения личного состава и пересмотра ряда принципов и подходов к созданию УТС и к самой организации боевой подготовки.

Анализ современных тенденций развития УТС для бронетанкового вооружения и техники (БТВТ) в армиях развитых стран мира показывает, что в области подготовки личного состава происходит переход от тренажеров одиночной подготовки и подготовки в составе экипажа к использованию тренажерных комплексов, позволяющих в разной степени моделировать задачи тактических действий с учетом критериев эффективности применения штатного вооружения.

Разработка, производство и внедрение в войсках тренажерных средств направлены на решение таких основных задач, как:

- повышение боеготовности экипажей за счет увеличения времени тренировок, разнообразия моделируемых боевых ситуаций как на реальной, построенной на основе цифровых карт, так и на вымышленной местности, широты охвата вовлеченных в тренировки военнослужащих от рядового до высшего командного состава, отработки взаимодействия внутри экипажа, подразделения, между подразделениями и родами войск;
- проведение подготовки экипажей в условиях, которые невозможно смоделировать с использованием реальной техники, например – в условиях применения оружия массового поражения, использование техники в городе, среди мирного населения;
- существенное снижение себестоимости обучения за счет экономии топлива и моторесурсов боевой техники.

Основными проблемами развития и формирования современной системы УТС для БТВТ являются:

- отсутствие обоснованной единой методологии применения УТС, что приводит к тенденции нерационального создания новых дорогостоящих технических средств обучения без единого замысла и методического обеспечения;
- принятые на снабжение Вооруженных Сил УТС для БТВТ морально и физически устарели, не отвечают современным требованиям боевой подготовки;

- низкая унификация и ограниченная возможность интеграции различных учебно-тренировочных средств;
- отсутствие модульности и взаимного сопряжения УТС для БТВТ;
- длительный период внедрения в учебный процесс существующих разработок новых УТС для БТВТ из-за отсутствия необходимого финансирования;
- низкая укомплектованность существующих учебных центров современными учебно-тренировочными средствами;
- отсутствие УТС на ряд образцов бронетанкового вооружения и техники, уже принятых на вооружение;
- отсутствие в номенклатуре УТС мультимедийных технических систем с использованием в учебном процессе интерактивных информационных обучающих программ.

Названные проблемы и объективные предпосылки для разработки и внедрения в процесс профессиональной подготовки экипажей БТВТ принципиально новых технологий обучения с использованием тренажерных систем predeterminedили проведение в рамках государственного оборонного заказа опытно-конструкторских работ серии «Бароскоп» и «Статоскоп» по созданию перспективных УТС: учебных компьютерных классов в стендовом исполнении, компьютерных стендов боевых отделений и динамических тренажеров экипажей и вождения с использованием последних достижений в области компьютерных технологий.

Указанные опытно-конструкторские работы были открыты в рамках Гозоборонзаказа в 2008 г. по тактико-техническим заданиям, утвержденным начальником Главного автобронетанкового управления. Главными исполнителями работ выступили тульские предприятия ОАО «ЦКБА», ОАО «Тулаторчмаш» и муромское предприятие ОАО «Муромский радиозавод». Целью являлось создание унифицированных комплектов учебно-тренировочных средств для основных образцов БТВТ.

В настоящее время разработанные в рамках ОКР «Статоскоп» компьютерные учебные классы в стендовом исполнении (КУКС) и компьютерные стенды боевых отделений (СБОК) рекомендованы к принятию на снабжение, а созданные в рамках ОКР серии «Бароскоп» динамические тренажеры экипажей и вождения прошли этап государственных испытаний.

Класс КУКС (СБОК) включает в себя следующие составные части:

- одно рабочее место инструктора (РМИ);
- восемь рабочих мест обучаемых (РМО);
- одну мультимедийную систему (МС);
- два мультимедийных интерактивных комплекса (МИК);
- три мультимедийных комплекса (МК);
- программное обеспечение (ПО);
- базу данных учебного материала (БД);
- комплект монтажных частей;

- комплект эксплуатационной документации;
- комплект ЗИП одиночный;
- комплект мебели;
- комплект тары и упаковки.

КУКС (СБОК) состоит из аппаратной части, программного обеспечения и учебного материала. КУКС (СБОК) представляет собой унифицированную систему, каждая из частей которой может быть заменена и усовершенствована без ущерба для другой.

Аппаратная часть КУКС (СБОК) состоит из разнообразного оборудования, комбинации которого позволяют организовать процесс интерактивного обучения (обучение в режиме диалога) с использованием современного программного обеспечения и разных видов учебного материала.

Общая концепция разработки заключается в использовании трехмерных анимированных моделей техники, вооружения, органов управления и контроля, панелей и блоков, а также точных алгоритмов работы агрегатов и механизмов.

Тренажер экипажа компьютерный (ТЭК-РДП) включает в себя следующие составные части:

- модуль боевого отделения МБО;
- модуль отделения управления МОУ;
- модуль инструктора МИ;
- динамическую платформу;
- динамическую платформу СДУ-03;
- комплект монтажных частей;
- комплект ЗИП одиночный;
- комплект упаковок;
- комплект эксплуатационных документов.

Внедрение в учебный процесс разработанных тренажеров и классов позволит обеспечить:

- оценку по установленным критериям уровня профессиональной подготовленности военнослужащих по той или иной военно-учетной специальности;
- возможность совершенствования имеющихся и восстановления утраченных навыков в зависимости от квалификации обучаемого с использованием программ различной сложности;
- увеличение интенсивности мероприятий боевой подготовки и качества обучения военнослужащих.

Вместе с тем устранение отмеченных проблем в развитии УТС для БТВТ возможно путем решения следующих задач:

1) Формирование единых требований к разработке, организации поставок и эксплуатации УТС (в том числе для БТВТ).

2) Создание сети учебных центров боевой подготовки нового поколения, способных решать весь спектр задач обучения подразделений и частей, органов управления тактического звена на основе единой систе-

мы синтезирования визуальной обстановки, систем объективного контроля результатов выполнения учебно-боевых задач, моделирования боевых действий на любом театре военных действий.

3) Укомплектование военных учебно-научных центров, учебных центров по подготовке младших специалистов, учебных центров боевой подготовки и боевого применения достаточным количеством современных учебно-тренировочных средств (в том числе для БТВТ).

4) Широкое применение в обучении экипажей БТВТ мультимедийных технических систем с использованием в учебном процессе интерактивных информационных обучающих программ, трехмерного моделирования объектов изучения.

5) Создание условий для унификации УТС, модульности их построения с возможностью сопряжения в едином информационном поле.

6) Разработка методик применения УТС, программ боевой подготовки с использованием УТС в системе обучения.

Таким образом, развитие системы УТС для БТВТ должно происходить по следующим основным направлениям:

- улучшение реалистичности и качества изображения системы визуализации, совершенствование моделей движения машины и стрельбы;

- совершенствование системы автоматизированного управления обучением, разработка пакетов обучающих программ и блоков автоматического контроля качества подготовки;

- широкое внедрение учебных компьютерных классов в стендовом исполнении и компьютерных стендов боевых отделений для повышения качества изучения основ эксплуатации БТВТ;

- разработка комплексных тренажеров и тактических тренажерных систем для подготовки экипажей БТВТ танковых (мотострелковых) подразделений – для отработки взаимодействия экипажей и подразделений при выполнении тактических задач. В рамках решения задачи перехода к использованию в боевой подготовке тренажеров, позволяющих моделировать задачи тактических действий, ООО ПФ «Логос» уже разработан тактический тренажер усиленного мотострелкового взвода;

- внесение изменений в руководящие документы Министерства обороны, регламентирующие порядок разработки технических заданий на создание новых образцов вооружения и военной техники (в частности, БТВТ), для недопущения принятия на вооружение нового образца без создания соответствующего комплекта УТС (на примере разработки ТТЗ для создания унифицированных платформ БТВТ и машин на их базе);

- массовое создание тренажеров нового типа (с возможностью их использования в мобильных и стационарных вариантах) с отдельными платформами (стационарными, динамическими) для использования в индивидуальном обучении экипажей БТВТ. Обязательное условие при этом – возможность их объединения в единый комплекс для обеспечения подготовки подразделений, частей и органов военного управления путем

внедрения результатов ОКР серии «Бароскоп», как единой платформы для создания тренажеров образцов вооружения и военной техники;

– разработка технических систем и соответствующего программного обеспечения по созданию для каждого члена экипажа электронной системы учета уровня его обученности в процессе всего срока военной службы.

В последние годы предприятия-разработчики УТС создали необходимые заделы в научной и производственной сфере своей деятельности, позволяющие реализовать указанные мероприятия. Проведение испытательных и исследовательских работ осуществляют специалисты НИИЦ БТ 3 ЦНИИ Минобороны России, имеющие необходимый опыт и располагающие соответствующим лабораторным оборудованием.

Проведение вышеуказанных мероприятий позволит достичь следующих результатов:

1) Внедрение в процесс боевой подготовки войск УТС для БТВТ с использованием новейших достижений вычислительной техники, программного обеспечения, математического, виртуального и полунатурного моделирования.

2) Создание технической основы для формирования сети учебных центров боевой подготовки нового поколения, обеспечивающих эффективное освоение нового вооружения, военной и специальной техники (в том числе БТВТ) и современных форм и способов действий войск.

3) Повышение унификации технологий, моделей, вычислительных и программных средств для межвидового взаимодействия за счет создания перспективных УТС (тактических тренажерных комплексов) и их применения для боевой подготовки войск.

4) Повышение уровня профессиональной подготовки военнослужащих.

5) Переход к оптимальному соотношению в проведении мероприятий боевой подготовки на УТС и на реальных образцах БТВТ, обеспечив при этом внедрение эффективных и малозатратных технологий.

Внедрение инновационных методов обучения

Необходимость использования новейших технологий обучения в образовательном процессе военных образовательных организаций обусловлена задачами подготовки высококвалифицированных специалистов, отвечающих требованиям информационного и цифрового общества.

Особенности современных вооруженных конфликтов показали повсеместное использование информационных технологий, что актуализирует проблему подготовки военных специалистов, способных в кратчайшие сроки изучать и использовать в повседневной служебной деятельности преимущества современного цифрового мира.

Внедрение современных образцов вооружения и военной техники, информационное противоборство, умение применять полученные навыки

в быстро меняющейся обстановке – вот далеко неполный перечень компетенций, необходимых современному специалисту. Приоритетами развития военного образования сегодня являются: совершенствование системы военного образования и воспитания, подготовка современных высокопрофессиональных кадров, способных эффективно реализовывать поставленные задачи, успешно адаптироваться к динамично изменяющимся ситуациям, непрерывно самосовершенствоваться, в сжатые сроки овладевать новыми образцами военной техники и применять их в реальных условиях. В целях подготовки будущих офицеров к успешному выполнению должностных обязанностей необходимо в процессе обучения создать условия для формирования военно-профессиональных компетенций. В педагогике под формированием понимается «становление человека как личности, которое происходит в результате его развития и воспитания и имеет определенные признаки завершенности». Под формированием будем понимать целенаправленный процесс воздействия на обучающихся с целью развития у них военно-профессиональных компетенций, которые позволяют успешно осуществлять свою профессиональную деятельность.

Заключение

Так как процесс совершенствования вооружения и военной техники не стоит на месте, поэтому и требуется так же совершенствовать и методики обучения специалистов, при чем не стоит забывать про совершенствование материально-научной базы. Так же в свою очередь стоит отметить, что подготовка специалистов военной сферы занимает не мало времени и ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модернизация как важная научная и производственная проблема. URL: <http://www.vko.ru/koncepcii/modernizaciya-kak-vazhnaya-nauchnaya-i-proizvodstvennaya-problema>
2. Совершенствование системы военного образования и подготовки военных специалистов. URL: <https://apni.ru/article/2014-sovershenstvovanie-sistemi-voennogo-obrazovan>
3. Опережающее создание научно-технического задела в интересах развития вооружения, военной и специальной техники / В.В. Ключков, А.М. Лукашов, В.В. Максимов, С.М. Рождественская. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/operezhayushee-sozdanie-nauchno-tehnicheskogo-zadela-v-interesah-razvitiya-vooruzheniya-voennoy-i-spetsialnoy-tehniki>
4. *Хондаренок М.* Закач почти исполнен: в Минобороны рассказали о ходе перевооружения // Армия, 2020. 30 декабря. URL: <https://www.gazeta.ru/army/2020/12/30/13421432.shtml?updated>

**МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА
ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
ПРИ ПОВСЕДНЕВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Д.Е. Гольке, О.В. Сидоренко, В.В. Капралов

Научный руководитель – **В.В. Капралов**, канд. пед. наук

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны

Разработан способ увеличения срока службы военной техники путем установки в систему электроснабжения таких машин специальных устройств, вырабатывающих и подающих высокодисперсную смесь воды и топлива.

***Ключевые слова:** цилиндропоршневая группа, водотопливная эмульсия, ресурс двигателя, неразборный способ очистки от нагара*

**METHOD OF INCREASING THE RESOURCE OF MILITARY
VEHICLES DURING DAILY OPERATION**

D.E. Golke, O.V. Sidorenko, V.V. Capralov

Scientific Supervisor – **V.V. Capralov**, Candidate of Pedagogical
Sciences

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

A method has been developed to increase the service life of military equipment by installing special devices in the power supply system of such machines that generate and supply a highly dispersed mixture of water and fuel.

***Keywords:** cylinder-piston pear, water-fuel emulsion, engine resource, non separable method of cleaning from carbon deposits*

В настоящее время в связи с переоснащением ВАТ для дизельных двигателей внутреннего сгорания, ученые активно занимаются проблемой нагара, ставшего препятствием для дальнейшего развития дизельных двигателей.

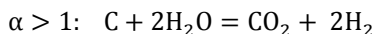
Согласно предыдущим исследованиям, проведенным учеными, при объеме воды в топливе до 20% ее влияние на основные показатели физико-химического состава моторного топлива незначительно. Капля

водотопливной эмульсии (далее ВТЭ), состоящая из воды и имеющая внутри газовый пузырь, а снаружи покрытая тяжелыми фракциями углеводородного топлива, в камере сгорания за счет высокой температуры (до 600 °С) мгновенно нагревается. При этом внутренняя часть капли воды преобразуется в перегретый пар, а оболочка капли ВТЭ, состоящая из тяжелых фракций углеводородного топлива, продолжает оставаться в жидком состоянии, так как температура их кипения выше 250 °С. Из-за этого в камере сгорания уже при температуре выше 100 °С происходит закипание капли водной фазы, переход ее в газообразное состояние. В этом случае пар хаотично движется с большой скоростью и попадает на поверхность нагара. Эта особенность ВТЭ способствует разрушению углеродных отложений за счет происходящих "микровзрывов".

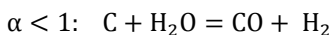
Необходимо указать преимущества ВТЭ по сравнению с другими компонентами: низкая стоимость ВТЭ; физическое воздействие водяного пара на рабочую смесь, за счет которого происходит первичное и вторичное распыление топлива; химическая активность воды.

Вода является очень дешевым компонентом для ВТЭ, что позволяет снизить циклические показатели давления в цилиндре двигателя внутреннего сгорания, а также значительно снизить температуру в камере сгорания. Проявляется также химическая активность водной фазы, которая выражается следующими химическими реакциями:

Первый случай, в котором коэффициент избытка воздуха



Второй случай, в котором коэффициент избытка воздуха



Горение, тепло, затрачиваемое при сгорании на процесс нагрева капель ВТЭ и непосредственно воды, компенсируется энергией сгорания полученного водорода (H₂), как дополнительного топлива для двигателя внутреннего сгорания. Этот нюанс позволяет доказать, что добавление воды в камеру сгорания двигателя внутреннего сгорания до 20% в виде ВТЭ существенно не влияет на работу двигателя внутреннего сгорания и процессы, связанные с коррозией деталей КПП, газораспределительного механизма и элементов системы выпуска отработавших газов двигателя внутреннего сгорания.

На основании вышеизложенного разработан способ приготовления ВТЭ с последующей подачей такого топлива в энергосистему двигателя внутреннего сгорания. Разработанный способ реализуется с помощью устройств, компоновочная схема которых приведена на рис. 1.

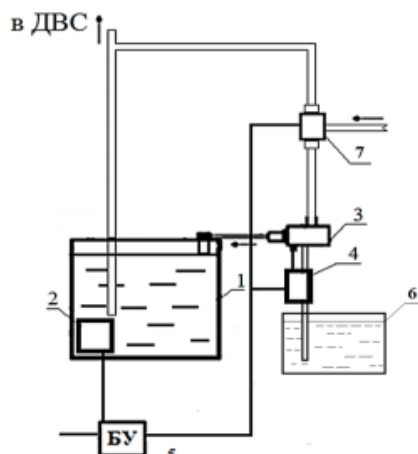


Рис. 1. Устройство для подготовки и подачи ВТЭ в двигатель внутреннего сгорания:

1 - емкость; 2 - смесительное устройство; 3 - дозатор;
4, 7 - управляемые клапаны; 5 - блок управления; 6 - резервуар для воды

В этом случае жидкий компонент, представляющий собой дистиллированную воду, приготовленную на предлагаемом устройстве, поступает в камеру сгорания двигателя. В камере сгорания нагревается капля воды, которая при взрыве мгновенно превращается в пар, при этом капли воды с большой скоростью ударяются о поверхность нагара, постепенно разрушая его. Разрушенные микрочастицы нагара настолько малы, что они удаляются из камеры сгорания без последствий для деталей через стандартную выхлопную систему двигателя внутреннего сгорания, которая не показана на рис. 1.

Разработанное устройство для неселективной очистки КПП двигателя внутреннего сгорания сочетает в себе набор несложных и технически подобранных элементов, что является промышленно применимым, так как для его реализации могут быть частично использованы серийно выпускаемые и общедоступные детали.

На рис. 2 показана схема компоновки блоков устройства подготовки и подачи ВТЭ в ДВС

В результате в процессе эксплуатации двигателя на ВТЭ в течение относительно короткого промежутка времени (50-60 часов) происходит разрушение нагара, удаление его через выхлопную систему двигателя внутреннего сгорания без применения разборки двигателя и без последствий для деталей КПП.

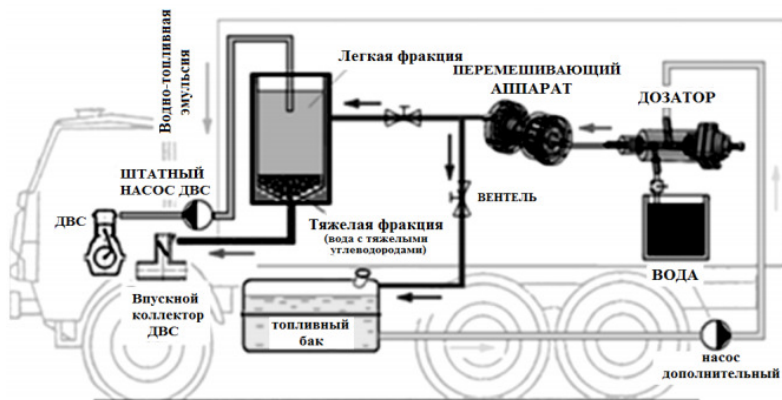


Рис. 2. Схема компоновки блоков на автомобиле КАМАЗ

Выводы: Предлагаемый способ универсален: он подходит как для бензиновых, так и для дизельных двигателей внутреннего сгорания и может быть реализован непосредственно на оборудовании без существенного изменения конструкции стандартной энергосистемы и силовых характеристик двигателя.

Предлагается приготовить ВТЭ с добавлением водной фазы без использования дорогостоящей эмульгирующей системы непосредственно на оборудовании, сразу же израсходовать ее, не давая ей расслаиваться. При этом разработанные образцы устройств монтируются в любом свободном месте моторного отсека и соединяются между собой гибкими резиновыми топливопроводами. Стандартные резервуары для воды, такие как бак омывателя лобового стекла, могут использоваться в качестве резервуаров для воды.

Применение разработанных устройств для неразборной очистки деталей двигателя КПП от нагара при ежедневной эксплуатации, особенно в полевых условиях, позволит увеличить срок службы ДВС. Это также позволит увеличить срок службы топливной аппаратуры за счет уменьшения образования твердых частиц (нагара) и лаковых пленок на деталях в камере сгорания и топливном насосе высокого давления. Это становится актуальным из-за очень высокой стоимости деталей ДВС и особенно топливного насоса высокого давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новичков М.Ю. Совершенствование рабочего процесса газодизеля. Санкт-Петербург, 2004. 145 с.

2. *Ломовских А.Е.* Испытания ДВС с системой приготовления и подачи ВТЭ с дисперсной фазой на основе воды / А.Е. Ломовских, В.В. Илларионов, Д.Е. Капустин, И.П. Сысоев // Сб. материалов докл. по итогам Всерос. НПК (29-30 ноября 2011 года). Ч. 3. Воронеж: ВАИУ, 2011. С. 133–134.
3. *Томилов А.А.* Струйно-кавитационный эжектор для модернизации системы питания двигателя внутреннего сгорания // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2017. Т. 18, № 8. С. 34–40.
4. Пат. № 2498094 Российская Федерация, МПК 7 F 02B47/02. Способ обработки углеводородного топлива для двигателя внутреннего сгорания / А.Е. Ломовских, В.П. Иванов, Д.Е. Капустин и др.; заявитель ВУНЦ ВВС «ВВА». № 2011133257/06 опубл. 10.11.2013. Бюл. № 12. 8 с.
5. Пат. № 2469199 Российская Федерация, МПК 7 F 02B47/02. Устройство для обработки углеводородного топлива / А.Е. Ломовских, В.П. Иванов, Д.Е. Капустин и др.; заявитель ВУНЦ ВВС «ВВА». № 2011132517/06 опубл. 10.12.2012. Бюл. № 6. 7 с.

ВОЕННАЯ АВТОМОБИЛЬНАЯ ТЕХНИКА ВС РФ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АРКТИКЕ

Д.А. Косарев, М.С. Балунув

Научный руководитель – **М.С. Балунув**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны

Одной из основных задач государственной политики является создание группировки войск общего назначения Вооруженных сил Российской Федерации, воинских формирований и органов в Арктической зоне Российской Федерации, способных обеспечить военную безопасность в различных условиях военно-политической обстановки.

***Ключевые слова:** специальные транспортные средства, снегоболотоходные образцы, экстремально низкие температуры*

MILITARY AUTOMOTIVE EQUIPMENT OF THE ARMED FORCES OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR USE IN THE ARCTIC

D.A. Kosarev, M.S. Balunov

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

One of the main tasks of the state policy is to create a grouping of general-purpose troops of the Armed Forces of the Russian Federation, military formations and bodies in the Arctic zone of the Russian Federation capable of ensuring military security in various conditions of the military-political situation.

***Keywords:** special vehicles, snow-and-swamp samples, extremely low temperatures*

Для выполнения поставленных задач требуется современная военная автомобильная техника, являющаяся важнейшим средством передвижения (обеспечения мобильности) частей и подразделений, адаптированная к применению в суровых природно-географических условиях северных (в том числе арктического) регионов РФ.

Природно-климатические условия арктического региона отличаются своей суровостью и практически полным отсутствием дорог. Преобладающим рельефом материковой части является каменистая холмисто-грядовая местность с густой озерно-речной сетью и болотами. В этих условиях движение транспорта значительно затруднено, а вне дорог порой практически невозможно. В зимний период года температура окружающего воздуха опускается до минус 50–60 °С и ниже, при этом зачастую сопровождается метелями, продолжающимися по по трое-четыре суток, с порывами ветра до 30–35 м/с, при этом глубина снежного покрова может достигать полутора - двух метров.

Применение колесной техники в данных условиях вследствие потери проходимости существенно ограничено. Её функции выполняют снегоболотоходные транспортно-тяговые военные гусеничные машины, обладающие низким удельным давлением на грунт (не более 0,3 кг/см²), и специальная снегоболотоходная техника (рис. 1).

Отличительной особенностью данной техники является возможность эксплуатации в тяжелых природно-климатических условиях при низкой температуре окружающего воздуха минус 50 °С (отдельные образцы возможно использовать до минус 60 °С).



Рис. 1. Вездеход ДТ-10

Современные снегоболотоходные образцы снабжены системами обеспечения поддержания силовой установки в «дежурном режиме» до

несколько суток, обеспечена живучесть при экстремально низких температурах (микроклимат в обитаемых отделениях), автономность и способности преодолевать водные преграды наплаву (для образцов, способных преодолевать водные преграды вплавь).

Колесные автомобили многоцелевого назначения в парке ВАТ арктических подразделений будут использоваться в основном в местах с имеющейся дорожной сетью. Автомобили КАМАЗ-5350 и Урал-4320-31 были доработаны до соответствующих требований. В частности, было выполнено следующее:

- установлены дополнительные системы обогрева кабины;
 - проведено утепление кабины и грузовой платформы для перевозки личного состава;
 - установлен электрообогрев остекления кабины;
- проведена адаптации силовых установок и агрегатов трансмиссии к холодным условиям (использованы специальные хладостойкие резино-технические изделия, автономные инфракрасные подогреватели и др.).

Заводами применены различные технические решения, в том числе по обогреву АКБ, топливной аппаратуры, применены специальные ГСМ отечественного производства для арктического региона (смазка морозостойкая типа «Арктол», моторное масло М-3з/12Д, антифриз Spektrogen GR-LV-65).

В период с 2014 по 2017 годы проведена доработка принятых на снабжение в 2003 году двухзвенных гусеничных транспортеров ДТ-10ПМ, ДТ-20ПМ, ДТ-30ПМ семейства «Вездесущий» для эксплуатации в условиях Арктики при температурах окружающего воздуха до минус 60 °С.

Технический облик снегоболотоходной военной автомобильной техники ВС РФ постоянно совершенствуется по результатам реальной эксплуатации в войсках, проводимых различных видов испытаний и учений. Так, в 2017 году в зимний период была проведена Северная экспедиция «ТИКСИ – 2017», целью которой являлось испытание современных и перспективных образцов снегоболотоходной военной автомобильной техники в сложных природно-климатических условиях Крайнего Севера и Арктики, в природно-климатических условиях Республика Саха (Якутия) – в ходе автономного марша от п. Тикси до о. Котельный архипелага Новосибирские острова (рис. 2),.

Таким образом, существующие образцы военной автомобильной техники для применения в Арктическом регионе позволяют выполнять возложенные на войска задачи по предназначению в условиях низких температур, бездорожья, наличия естественных природных преград (заболоченных местностей, рек и озер, подъемов, спусков и т. д.).



Рис. 2. Гусеничный вездеход ЧЕТРА ТМ140 "Арктика"

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://cyberleninka.ru>
2. Транспортная артерия Советской Арктики / Арикайнен, А.И.; отв. ред Е.И Толстиков. М.: Наука, 1984.
3. Транспортно-инфраструктурный потенциал Российской Арктики /Е.П. Башмакова и др.; под науч. ред. В.С Селина. Апатиты: Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина Кольского научного центра РАН, 2013. 279 с.
4. Территория войны. URL: <http://www.globalwarnews.ru/voennaya-avtomobilnaya-tehnika>

УДК 437.093

ВОЕННАЯ ТЕХНИКА ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА БАЗЕ КАМАЗ

А.В. Матвеев, А.В. Бажанов, М.И. Гетманский, М.С. Балунув

Научный руководитель - **М.С. Балунув**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются грузовые автомобили на базе КамАЗ.

Ключевые слова: тайфун, грузовик, техника, двигатель

MILITARY EQUIPMENT OF THE ARMED FORCES OF THE RUSSIAN FEDERATION BASED ON KAMAZ

A.V. Matveev, A.V. Bazhanov, M.I. Getmansky, M.S. Balunov

Scientific Supervisor - **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

Trucks based on KAMAZ are being considered.

Keywords: typhoon, truck, machinery, engine

Автомобильная техника является наиважнейшим звеном системы повседневного обеспечения жизни и деятельности Вооруженных сил. Военная автомобильная техника – основное средство, обеспечивающее тактическую и оперативную подвижность войск и мобильных наземных объектов вооружения и военной техники, использующееся во всех ВС, родах войск, специальных войсках и службах. Более 95% наземного подвижного вооружения и военной техники ВС РФ монтируется на автомобильных базовых шасси.

Существующий автомобильный парк ВС РФ в основном удовлетворяет современные потребности войск. Однако, в силу ряда обстоятельств, сложившихся в последние годы, он приобрел ряд особенностей и качеств, которые при их негативном развитии способны снизить его боеготовность и эффективность [4].

Так, современный автомобильный парк ВС РФ характеризуется многомарочностью. В настоящее время в ВС РФ имеется 41 базовая модель и 65 модификаций машин и всех типов марок.

В последние годы автомобильной отрасли РФ по заказу и техническим заданиям ГАБТУ Минобороны были разработаны, испытаны и приняты на вооружение новые перспективные образцы автомобилей УАЗ, ГАЗ, ЗИЛ, Урал, КамАЗ.

В современных условиях военная автомобильная техника становится основным средством обеспечения живучести комплексов вооружения. Кроме этого, силовая установка военной автомобильной техники непосредственно вовлекается в процесс боевого обеспечения и функционирования посредством привода различного вооружения, и оборудования, установленного на шасси. Качественное изменение предназначения военной автомобильной техники на фоне интенсивного развития средств обнаружения и поражения в передовых странах обуславливает существенное расширение и ужесточение тактико-технических требований по защищённости.

Сейчас в армии эксплуатируются три линейки полноприводных машин – двухосный КамАЗ-4350, трехосный КамАЗ-5350 и четырехосный КамАЗ-6350. Особый интерес вызывает десантная модификация КамАЗа с индексом 43501 (рис. 1), которая стала своеобразной заменой ушедшего на покой ГАЗ-66. Ходят слухи, что на роль преемника планировался ГАЗ «Садко». И это логично – машина собрана во многом на базе «Шишиги».



Рис. 1. Десантный «Мустанг» КамАЗ-43501

По одной из версий на копровых испытаниях (моделирование удара о землю) у грузовичка лопнула рама. А по другой – КамАЗ предоставил гораздо более совершенную машину. Несмотря на гораздо большую

(чем у «Садко») массу КамАЗа, новый десантный грузовик берет на борт три тонны и оснащен гораздо более мощным дизельным мотором. Изначально семейство КамАЗ-4350 планировалось для Пограничной службы. И для десантируемой модификации пришлось понизить (появились колесные арки) и немного укоротить грузовую платформу. В итоге маленький КамАЗ влез на десантную платформу П-7М и в 2007 году вполне успешно прошел испытания. Несколько сотен десантируемых КамАЗов сейчас на вооружении Российской армии [3].

На вершине линейки стоит КамАЗ-7560 с 400-сильным дизелем и немецкой автоматической 16-ступенчатой КПП Zahnradfabrik. Для зенитных комплексов «Панцирь-С» в качестве колесной платформы используется гибрид из этих двух моделей КамАЗ-6560 с дизельным мотором 740.35-400. Существует бортовая версия машины, оснащенная 16-ступенчатой механической коробкой передач. А вот тяжелый КамАЗ для «Панцирей» просто напичкан зарубежными компонентами. «Автомат», куплен в Германии у упоминаемой Zahnradfabrik (модели 6HP 602 Ecomat или 16 S 1822). Подобные агрегаты можно встретить на тяжелых военных MAN и даже бронетранспортерах Voxx. Мало того, нередко можно увидеть КамАЗы-6560 с демонтированными немецкими «автоматами» и установленными взамен российских «механик» [3] (рис. 2).



Рис. 2. Бортовые КамАЗы-6560 и в качестве платформы для «Панциря-С1»

«Тайфун» — семейство броневедомостей повышенной защищенности, разработанное кооперацией из более чем 120 предприятий, среди которых Уральский автомобильный завод, КамАЗ, Ярославский моторный завод, НИИ стали (броня машины), Федеральный ядерный центр в Сарове (расчет защищенности бронекорпуса), «Магистраль» (бронестекла), МГТУ им. Баумана (гидропневматическая подвеска). Впервые были

продемонстрированы в 2011 году на полигоне, 9 мая 2014 года — на военном параде в Москве (Тайфун-К) и на параде 9 мая 2015 года (Тайфун-К, Тайфун-У) (рис. 3 и 4). Планируется принять на вооружение в 2015 году. В декабре 2014 года для опытной эксплуатации в войска поступила первая партия (30 автомобилей), весной 2015 года – вторая. Семейство броневедомостей предназначено для перевозки личного состава, а также для установки различного целевого оборудования или систем вооружений. На его базе можно создавать машины связи, мобильные артиллерийские системы, автокраны, транспортно-пусковые машины беспилотных летательных аппаратов, эвакуаторы, экскаваторы и другие модификации. Семейство послужит единой унифицированной платформой для «лёгких» бригад Сухопутных войск [2].



Рис. 3. Ремдизель-63968 «Тайфун К»



Рис. 4. Урал-63095 «Тайфун-У»

Все машины семейства унифицированы по двигателям (ЯМЗ-536), информационно-управляющей системе, противоминной защите и подвеске. На всех машинах для перевозки личного состава возможна установка дистанционно управляемого пулемётного модуля. Комбинированная бронезащита (керамика и сталь), а также бронестёкла обеспечивают

круговую защиту по четвёртому уровню стандарта STANAG 4569 (14,5 мм бронепробиваемость пули Б-32). Противоминная защита машин обеспечивается V-образным днищем, поглощающим энергию взрыва сидениями и соответствует уровню 3b в соответствии со STANAG 4569 (взрывное устройство до 8 кг в тротиловом эквиваленте). В крышах машин имеются люки для экстренной эвакуации личного состава в случае опрокидывания. По периметру бронемашин установлены видеочкамеры, что позволяет наблюдать за обстановкой, не покидая транспортного модуля, а также управлять бронемашинной в случае невозможности использования лобового стекла. Обитаемое пространство на всех машинах герметично, с искусственно поддерживаемым избыточным давлением, фильтрация поступающего внутрь воздуха обеспечивается установкой ФВУ-100. Все машины семейства могут выполняться в двухосных или трёхосных вариантах [1].

Таким образом, военная автомобильная техника, созданная по тактико-техническим требованиям Министерства обороны Российской Федерации, используется под монтаж, буксировку комплексов различных видов оружия и средств. В частности, автомобили многоцелевого назначения, специальные колесные шасси и тягачи, военные гусеничные машины транспортно-тягового класса, бронированные автомобили, прицепы и полуприцепы, кузова-контейнеры и кузова-фургоны многоцелевого назначения, подвижные средства технического обслуживания, ремонта и эвакуации. Все это классифицируется для поддержания в постоянной готовности к использованию. Для этого требуется комплексное автотехническое обеспечение – целый ряд мероприятий, включающих заказ, накопление, хранение (содержание) и эшелонирование запасов автотехники и имущества, обеспечение войск ВАТ, ее эксплуатацию и восстановление, техническую и специальную подготовку личного состава. Представьте: даже понятие «военный автомобилист» сегодня стало комплексным. Это и водитель, и ремонтник, и специалист по эксплуатации и обслуживанию техники, и преподаватель автомобильных дисциплин, и командир автомобильного подразделения. То есть все это в целом – сложнейшая система, которая должна постоянно развиваться и обновляться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сергеев В.* Тайфун идёт с Урала, или MRAP по-русски // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. 2014. Май (№ 05). С. 2—9.
2. Википедия. URL: <https://ru.m.wikipedia.org/wiki/>
3. Integral. URL: <https://integral-russia.ru/2021/01/14>
4. Военноеобозрение. URL: <https://topwar.ru/>

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЙСКОВОГО РЕМОНТА В УСЛОВИЯХ ВОЕННЫХ ЛОКАЛЬНЫХ КОНФЛИКТОВ

Е.В. Мороз, М.С. Балунов

Научный руководитель – **М.С. Балунов**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны

К военному специалисту (специалист-ремонтник) службы технического обеспечения (ТехО) предъявляются новые, высокие требования, одним из которых является быстрое восстановление функционирования объекта с ограниченной боеспособностью в условиях боевых действий локального характера с перебоями или полным отсутствием поставок военно-технического имущества (ВТИ). Реализация мероприятий по повышению квалификации специалистов способна обеспечить поддержание высокого уровня боеспособности войск.

***Ключевые слова:** ремонтные группы, подготовка специалиста, поток ремонтного фонда*

TOPICAL ISSUES OF THE ORGANIZATION OF MILITARY REPAIR IN CONDITIONS OF LOCAL MILITARY CONFLICTS

E.V. Moroz, M.S. Balunov

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

New, high requirements are imposed on the military specialist (repairman) of the technical support service, one of which is the rapid restoration of the functioning of an object with limited combat capability in the conditions of local hostilities with interruptions or complete absence of supplies of military-technical equipment (VTI). The implementation of measures to improve the skills of specialists is able to ensure the maintenance of a high level of combat capability of the troops.

***Keywords:** repairgroups, specialisttraining, repairfundflow*

Анализ исторического опыта показывает, что способы ведения боя постоянно меняются. Одной из самых востребованных теоретических концепций войн будущего является концепция «ситецентрических войн». В настоящее время военная наука выделяет целый ряд тенденций изменения

характера вооружённой борьбы, которые оказывают непосредственное влияние на развитие форм и способов ведения военных действий [1]. Боевые действия будут характеризоваться высокой скоротечностью, взаимным глубоким вклиниванием самостоятельных боевых тактических групп (БТГр) со значительным (для ранее принятых) отрывом от основных сил.

Современные боевые действия сопровождаются большим темпом роста потерь с образованием больших объёмов ремонтного фонда - до 70% с различной степенью повреждения. В ходе операции и боя ремонтный фонд распределяется весьма неравномерно в полосах и районах действий соединений и объединений. В течение суток боевых действий, в зависимости от их масштаба, может возникать несколько районов больших потерь вооружения и техники. Размеры этих районов могут быть более 16–20 км по фронту и более 40 км в глубину, что осложняет мероприятия по поиску, обнаружению, эвакуации и ремонту повреждённой техники.

По опыту боевых действий в локальных конфликтах за операцию безвозвратные потери составляют пятую часть всех потерь, при этом процент текущих ремонтов уменьшился в сравнении с предыдущими войнами на 30%. Боеготовность бронетанковой техники после боестолкновения в определённом моменте может составлять менее 33%. Американские военные специалисты считают, что в ходе боевых действий с использованием современных противотанковых средств за короткий срок может быть выведено из строя значительное количество танков.

Боевые повреждения требуют большого объёма восстановительных работ, при этом в условиях боевых действий производительность ремонтных работ значительно ниже, по сравнению с мирным временем. Во многом это объясняется следующим:

- во-первых, ремонтный фонд характеризуется значительной неопределенностью по времени и месту его возникновения, по виду и соотношению объёмов требуемых ремонтных работ;
- во-вторых, в военное время применяется сокращённая технология с широким использованием обезличенного метода ремонта.

При организации восстановления важно рационально распределить задачи между различными ремонтными подразделениями в зависимости от их материально-технического обеспечения, отведённой трудоёмкости работ. В настоящее время в связи с локальным характером боевых действий усложняются задачи, решаемые системой технического обеспечения:

- организация и проведение технической и специальной подготовки;
- быстрое и качественное восстановление повреждённой (неисправной) техники;
- своевременное и бесперебойное обеспечение ВТИ;
- организация и осуществление защиты, охраны и обороны сил и средств технического обеспечения и ремонтно-эвакуационного фонда;

- организация и управление силами и средствами технического обеспечения.

Система восстановления, имеющая низкую организационно-техническую структуру, равно как и низкий уровень подготовки специалистов, приводит к росту численности и накоплению неисправного БТВТ (рис. 1).



Рис. 1. Система восстановления

Одной из задач системы восстановления является развертывание сборного пункта повреждённых машин ремонтным подразделением с целью поддержания заданного боевого потенциала войск по наличию БТВТ в строю в течение планируемого периода операции. Это достигается путем восстановления БТВТ в объёме и темпе выхода их из строя боевых подразделений и частей. Система ремонта является подсистемой системы восстановления, включающей в себя технологические процессы текущего (ТР), среднего (СР) и капитального (КР) ремонта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дорохов В.Л.* Развитие форм и способов боевых действий в современных условиях / В.Л. Дорохов, В.В. Вихрев // Наука и военная безопасность, 2016.
2. Ремонт военных гусеничных и колёсных машин: учебник / А.А. Иванников, Д.С. Звездин, О.В. Новиков, В.В. Баннов, С.Г. Карачёв, А.Н.Щербо. Омск: ОАБИИ, 2015.
3. https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/3339/Tekhnicheskoeobespecheniepodrazdelenij_v_boyu.

БЕСШАТУННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

А.Э. Огородников, М.С. Балунув, С.С. Черников

Научный руководитель – **М.С. Балунув**, 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

CONNECTING RODLESS COMBUSTION ENGINE

A.E. Ogorodnikov, M.S. Balunov, S.S. Chernikov

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 совершенствуются с конца XVIII века. Основным его элементом является криво-

шипно-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. Эти негативные явления приводят к повышенному износу цилиндропоршневой группы, снижению кпд, повышению расхода топлива.

Исключить ее можно, применив такой механизм, в котором шатун двигался бы только возвратно-поступательно, не совершая угловых качений относительно оси поршневого пальца.

В принципе работы такого механизма лежит частный случай гипоциклоиды: при обкатке одной окружности внутри другой, имеющей вдвое больший радиус, точки A и B малой окружности перемещаются по взаимно перпендикулярным прямым (рис. 1).

Зная это свойство, возьмем кривошип OC , промежуточное звено ACB , два поршня, расположенных на перпендикулярных осях. Для того чтобы точки A и B перемещались прямолинейно, отношение OC к AB примем, как 1:2 (рис. 2).

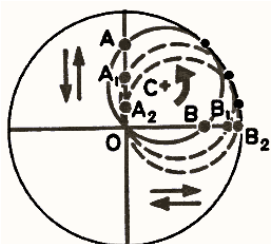


Рис. 1

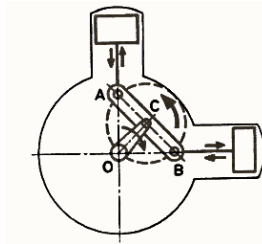


Рис. 2

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 :

$$y_c = BC \cos \alpha = r \cos \alpha, \quad (1)$$

$$x_c = AC \sin \alpha = r \sin \alpha. \quad (2)$$

Из выражений следует, что точка C всегда находится на постоянном расстоянии от начала координат (точки O):

$$OC = \sqrt{y_c^2 + x_c^2} = r. \quad (3)$$

Т.е. точка C движется по окружности радиуса r с центром в т. O .

Соединив 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.

Существует несколько вариантов исполнения механизма бесшатунного двигателя:

Рассмотрим механизм, в котором промежуточное звено ACB выполнено в виде коленчатого 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. 3).

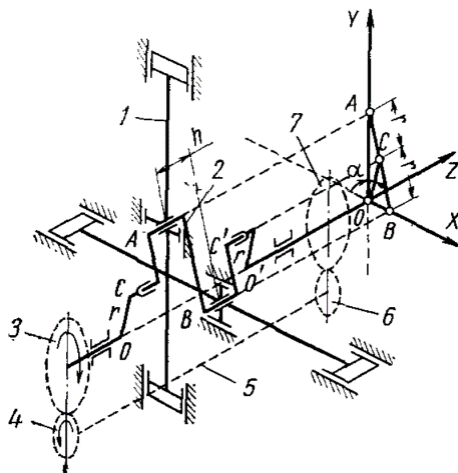


Рис. 3

Следующий вариант механизма показан на (рис. 4), 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 два раза меньший радиус кривошипов. Применение эксцентрикового механизма позволит существенно уменьшить продольные размеры двигателя. Такой механизм

будет наиболее выгодно применять при небольшом ходе поршня и относительно небольшом объеме двигателя.

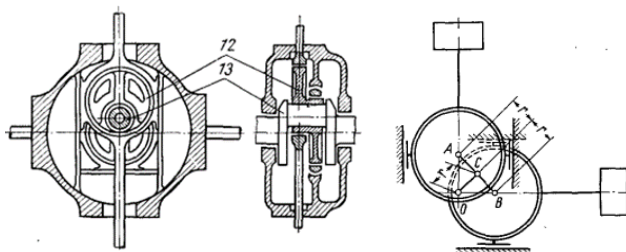


Рис. 4

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, 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 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.: Высш. шк., 2005. 479 с.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВОДИТЕЛЯ

А.М. Ясько, И.А. Трефилов, И.А. Василенко, С.Г. Кондаков

Научный руководитель – **С.Г. Кондаков**, ст. преподаватель

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются психофизиологические факторы оказывающие влияние на процесс вождения автотранспорта.

Ключевые слова: водитель, психология, безопасность

INFLUENCE OF VARIOUS PSYCHOLOGICAL FACTORS ON THE DRIVER

AM. Yasko, I.A. Trefilov, I.A. Vasilenko, D.A. S.G. Kondakov

Scientific Supervisor – **S.G. Kondakov**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

We consider psychophysiological factors influencing the process of driving vehicles are considered.

Keywords: driver, psychology, safety.

Каждый желающий связать свою жизнь с управлением и эксплуатацией автомобильного транспортного средства должен осознавать степень ответственности, которая возлагается на него, будучи за водительским местом. Водитель должен понимать, каким образом обеспечивается безопасность вождения транспорта и какие факторы могут повлиять на неё. Исходя из статистики можно сделать вывод, что огромную роль играет человеческий фактор при управлении транспортным средством.

Согласно статистическим данным основной причиной дорожно-транспортных происшествий (ДТП) являются ошибки водителей, т.е. действие не соответствует заявленной цели (рис. 1). Несмотря на ведущую роль человека в осуществлении производственного процесса, его влияние ограничивается индивидуальными психофизиологическими возможностями.

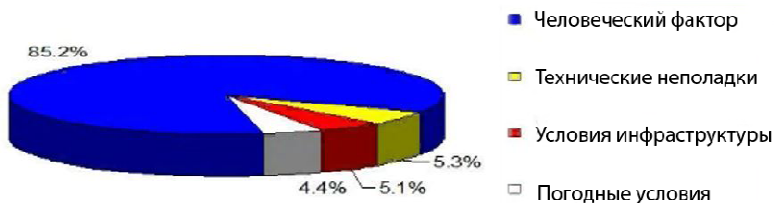


Рис. 1. Соотношение причин возникновения ДТП на дорогах

Поэтому следует постоянно изучать предельные возможности организма для того, чтобы создавать новые тесты и правила индивидуальных тренировок профессиональных качеств и закрепления достигнутых результатов. Каждое управляющее действие водителя проявляется в ответных реакциях при появлении информации о состоянии дороги, перемещении пешеходов и движении транспортных средств (ТС), дорожных знаков, разметки. Проблема надежности водителя связана с его психофизиологическими особенностями и возможностями – свойствами восприятия окружающей ситуации, реакцией, внимательностью, оперативным мышлением, ощущением и пр.

Ошибки в работе водителя

Работа водителя сопоставима с деятельностью оператора в особых условиях, связанных с определенной вероятностью наступления аварийных ситуаций, переработкой больших объемов информации, возможным резким изменением функционального состояния от монотонии и оперативного покоя до стресса, повышенной эмоциональной напряженности на пределе возможностей. Такие особые (осложненные) условия предъявляют повышенные требования к водителю, могут являться причиной ошибок и срывов в его работе, неблагоприятно влияют на его работоспособность. Не случайно, что согласно данным официальной статистики подавляющее число ДТП вызвано влиянием человеческого фактора. В транспортной психологии основу оценки надежности человека (оператора) составляет понятие ошибки, т.е. действия (или бездействия), которое привело к отклонению управляемых параметров технической части системы от допустимых пределов эксплуатации или запрещено правилами. На основе научных исследований разработаны классификация ошибок человека-оператора, общая теория природы ошибочных действий, а также методы анализа и профилактики ошибок в работе оператора. В контексте этих исследований причины ошибок в работе водителя предлагается рассматривать с двух точек зрения: во-первых, как следствие нарушения информационных процессов при восприятии водителем дорожных условий; а во-вторых, как следствие повышенного допустимого риска в

дорожном движении (например, несоблюдение водителями ПДД). Доля водителей, отнесенных к той или иной группе в зависимости от выбранного режима движения автомобиля в транспортном потоке, может существенно меняться под влиянием параметров дорог и уровня их загрузки (табл. 1).

Таблица 1. Основные причины возникновения ошибок водителя

Классификация основных причин ошибок, совершаемых водителями.

№ п/п	Причины ошибок водителя	Дорожные условия, способствующие возникновению ошибок в работе водителя
1	Невосприятие актуальной информации	Маскировка информации (ограничение видимости дорожных знаков, встречных автомобилей), отвлечение внимания на доминирующие раздражители (придорожная реклама, громкая музыка в салоне автомобиля и т.п.). Монотонные условия движения («сенсорный голод»).
2	Непреднамеренный пропуск важной информации	Дефицит времени на прием и переработку больших объемов поступающей информации (движение в плотных транспортных потоках, участки пересечений и примыканий с ограниченной видимостью), неудовлетворительное эксплуатационное состояние дорожных знаков и разметки, затрудняющее их зрительное восприятие
3	Потеря информации из-за ее избыточности	Информационная перегрузка водителя (высокая интенсивность движения, участки дорог в населенных пунктах при близком расстоянии до застройки и активном пешеходном движении). Большое количество и различие типов одновременно воспринимаемых дорожных знаков. Движение в соответствии с ранее сложившейся программой управления автомобилем, несмотря на изменение дорожных условий (неожиданное ухудшение транспортно-эксплуатационных качеств дороги, изменение погодных условий и т.п.)
4	Ложная интерпретация информации	Несоответствие схем ОДД установленным требованиям (в том числе на участках пересечений и примыканий дорог). Сложные условия восприятия дорожной обстановки (дождь, туман). Неудовлетворительное эксплуатационное состояние дорожных знаков, разметки. Отсутствие искусственного освещения.

Поведение детей и подростков на дороге.

Установлена прямая зависимость между психоэмоциональными состояниями пешеходов и водителей и количеством аварийных ситуаций, возникших при эксплуатации ТС. Спешка, нервозность, общее утомление, хроническая усталость – все это тоже может стать причиной ДТП. Водители должны учитывать не только свое состояние, но и знать некоторые особенности поведения других участников дорожного движения, особенно детей. Необходимость особой осторожности и предупредительности в отношении детей вытекает из тех обстоятельств, что поведение детей очень похоже на действия пожилых и инвалидов. Они не имеют достаточной психологической и физической готовности для участия в дорожном движении. В детском возрасте все физиологические системы ребенка находятся на той стадии, когда они еще не достигли своего полного развития. Более того, находятся в состоянии становления. Многие процессы подвижны и неустойчивы. Отсюда и такая разная реакция детей и взрослых на одни и те же дорожные ситуации.

Психофизические особенности

Успех любой деятельности зависит от направленности человека, его интересов, способностей, темперамента, характера, морально-нравственных и психофизиологических качеств, которые в совокупности определяют его поведение в конкретных жизненных ситуациях. Поведение

ние человека, его действия и поступки являются интегральным выражением всех его психофизиологических и личностных качеств. Отрицательные черты личности затрудняют деятельность водителя, ведут к ошибкам и ДТП. Водители, работающие без аварий, по сравнению с водителями, допускающими большое количество нарушений, характеризуются не только высокой дисциплинированностью, но и уравновешенностью, рассудительностью, находчивостью, более широкими интересами, высокими нравственными и моральными качествами. Воспитание этих качеств у водителей должно быть первостепенной задачей руководителей всех учебных и автотранспортных предприятий.

Психофизические способности каждого из нас заложены от рождения и изменить их трудно, а некоторые невозможно. Но знать их необходимо, хотя бы для того, чтобы понять, какое влияние они могут оказать на безопасность дорожного движения.

Подводя итог можно сказать, что существует множество различных факторов, которые оказывают влияние на вождение транспортным средством. Возраст, усталость, невнимательность, темперамент и личные качества, коренным образом отражаются в действиях и поступках водителя на дороге. Для того чтобы грамотно и безопасно управлять транспортным средством необходимо знать не только правила дорожного движения, но и знать психофизиологические особенности и их влияние на вождение автотранспортом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://lib.madi.ru/fel/fel1/fel17E447.pdf>
2. <http://900igr.net/prezentacija/ekonomika/vidy-gruzovykh-fur-metody-pogruzki-nanikh-gruzov-264461/osnovnaja-prichina-chelovecheskij-faktor-14.html>
3. https://studbooks.net/2194703/tehnika/analiz_vliyaniya_psihofiziologicheskikh_harakteristik_voditelya_avariynost

ОСОБЕННОСТИ ПРАВИЛ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В СРАВНЕНИИ С ПРАВИЛАМИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Б.С. Сергейчук¹, С.Г. Кондаков²

Научный руководитель – **С.Г. Кондаков**, ст. преподаватель

¹Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны

²Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются особенности Правил дорожного движения Российской Федерации и Республики Беларусь. Представлены некоторые примеры различий в требованиях Правил, которые необходимо знать и выполнять при движении по автомобильным дорогам этих государств.

***Ключевые слова:** нарушение правил дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, водительское удостоверение, транспортное средство*

FEATURES OF THE TRAFFIC RULES OF THE RUSSIAN FEDERATION IN COMPARISON WITH THE RULES OF THE ROAD OF THE REPUBLIC OF BELARUSIAN

B.S. Sergiychuk¹, S.G. Kondakov²

Scientific Supervisor - **S.G. Kondakov**, Senior Lecturer

¹Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

²Yaroslavl State Technical University

The features of the Traffic Rules of the Russian Federation and the Republic of Belarus are considered. Some examples of differences in the requirements of the Rules that you need to know and follow when driving on the highways of these states are presented.

***Keywords:** violation of traffic rules, traffic accident, driver's license, vehicle*

Кардинальных различий в требованиях Правил дорожного движения Российской Федерации и Республики Беларусь не отмечается, но есть свои особенности. Эти особенности надо знать тем автомобилистам, которые пользуются автомобильными дорогами этих государств.

Данная тема важна ещё тем, что между Россией и Беларусью нет границы, как таковой, и происходит постепенная интеграция. Но страны

разные и есть соответственно свои особенности в требованиях Правил. А знание таких различий предотвратит возникновение дорожно-транспортных происшествий и снизит тяжесть последствий при их возникновении.

Первое, на что надо обратить внимание, это в ПДД РФ содержится 26 глав и 3 приложения, а ПДД Республики Беларусь – 27 глав и 4 приложения.

Для белорусских ПДД характерной особенностью является наличие большого количества терминов и определений, указанных в разделе «Общие положения». Разница составляет 28 наименований (в сравнении с ПДД РФ), которые касаются разных особенностей движения транспортных средств, такие, «безопасность дорожного движения», «как крайнее правое (левое) положение на проезжей части дороги», «маневрирование (маневр)», «обзорность дороги». Даны такие термины, как «автомобиль», «автотобус», «железнодорожное транспортное средство». Это всё даёт лучшее и однозначное понимание особенностей дорожного движения.

Но в ПДД РБ нет такого понятия, как «автомагистраль», а в российских правилах такое определение есть.

Имеются отличия в определениях «главная дорога». Разница заключается в покрытии дороги. А для водителя важно знать и уметь быстро определять категорию дороги, что может предотвратить дорожно-транспортное происшествие.

В правилах Республики Беларусь есть и другие отличия, которые надо обязательно помнить. Так при приближении транспортного средства с проблесковыми маячками синего и красного цвета водители обязаны принять вправо и остановиться, ожидая проезда (в РФ остановка не требуется).

В случае приближения к стоящему ТС с включёнными синими и красными проблесковыми маячками водитель обязан принять вправо, остановиться и выполнять требования сотрудников ГАИ.

Стоянка автомобилей запрещена ближе 15 метров от пешеходных переходов с обеих сторон, а также перед перекрёстками на расстоянии ближе 15 метров.

Запрещается разворот не только на пешеходном переходе, но и ближе 15 метров с обеих сторон пешеходного перехода.

Пересечения с выездами с прилегающих территорий считаются перекрёстками.

Расстояние для перехода с дальнего света на ближний - не менее 300 м (в РФ – 150 м).

Нарушение скоростного режима начинается с 10 км/ч (в РФ с 20 км/ч).

Лишение права управления ТС в РБ за повторное нарушение скорости на 20 км/ч и более.

За нарушение ПДД в Республике Беларусь предусмотрены более жесткие и высокие штрафы, которые измеряются в базовых величинах.

Имеются некоторые различия и в дорожных знаках, которых нет в Российской Федерации.

Это знаки:



- конец дороги с усовершенствованным покрытием.



- аварийно-опасный участок.



- гололеда.



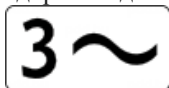
- сезонные миграции земноводных.



- дорожка для всадников.



- конец дорожки для всадников.



- количество опасных поворотов



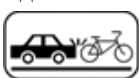
7.22.2



7.22.1



7.22.3



7.22.4

- виды опасностей.

Таким образом, в Правилах дорожного движения Российской Федерации и Республики Беларусь имеются как существенные, так и менее существенные различия.

Будьте осторожны на дорогах, не нарушайте правила дорожного движения вне зависимости от того в какой стране находитесь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила дорожного движения Российской Федерации. М.: ООО «Амберг 98», 2020. 64 с.
2. Правила дорожного движения Республики Беларусь. URL: https://dorbox.by/product/pdd_2017_bielarus/ (дата посещения сайта 23.03.2022)

**ВЛИЯНИЕ ГЛИЦЕРИНА НА СВОЙСТВА ЛИТИЕВЫХ
СМАЗОК НА ОСНОВЕ АЛИФАТИЧЕСКИХ ЭФИРОВ ЖИР-
НЫХ КИСЛОТ ТАЛЛОВОГО И РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ
ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ**

М.С. Ермаков, М.А. Червочкин, В.В. Соловьев, А.В. Соколов

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

Ярославский государственный технический университет

В работе исследованы смазочные материалы, изготовленные на основе минеральных масел и алифатических эфиров жирных кислот таллового, а также растительного масла, переведенных в литиевые мыла. В качестве добавки, обладающей высокой термической и окислительной стабильностью, предложено использовать реакционный глицерин, образующийся в процессе получения этиловых эфиров жирных кислот технических растительных масел. Исследовано влияние концентрации глицерина на свойства литиевых смазок, которые предполагаются к использованию для смазки электромобилей.

Ключевые слова: глицерин, литиевые смазки, минеральные масла, алифатические эфиры жирных кислот таллового масла, эстолиды, электромобили.

**THE EFFECT OF GLYCERIN ON THE PROPERTIES OF LITHIUM LUBRI-
CANTS BASED ON ALIPHATIC ESTERS OF TALLOW FATTY ACIDS AND
VEGETABLE OILS FOR THEIR USE IN ELECTRIC CARS**

M.S. Ermakov, M.A. Chervochkin, V.V. Soloviev, A.V. Sokolov

Scientific Supervisor - **V.V. Soloviev**, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Lubricants made on the basis of mineral oils and aliphatic esters of tallow fatty acids, as well as vegetable oil, converted into lithium soaps are studied in the work. As an additive with high thermal and oxidative stability, it is proposed to use reactive glycerin formed during the production of ethyl esters of fatty acids of technical vegetable oils. The effect of glycerin concentration on the properties of lithium lubricants, which are supposed to be used for the lubrication of electric vehicles, has been studied.

Keywords: glycerin, lithium lubricants, mineral oils, aliphatic esters of tall oil fatty acids, estolides, electric vehicles

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 электромобилей [1]. Известно, что повышение окислительной стабильности можно достичь за счет использования масел на синтетической основе, состоящих из таких молекул, как полиальфаолефины, сложные эфиры, полиалкиленгликоли или эстолиды [2]. Последние, как правило, представляют собой эфиры оксигирных кислот (например, 12-оксистеариновой кислоты), получаемые на основе технических растительных масел или свободных жирных кислот, взаимодействующих с алифатическим спиртом [3].

Основным источником 12-оксистеариновой кислоты является касторовое масло, которое в Российской Федерации из-за экономических санкций и частичного прекращения поставок из-за рубежа является дефицитным продуктом.

Проведенные предварительные исследования показали, что приемлемой заменой основного компонента эстолидов - 12-оксистеариновой кислоты и ее эфиров могут быть эфиры алифатических кислот C_{18} , синтезированные на основе технического льняного, подсолнечного, рапсового, а также таллового масла [4]. Это связано с тем, что при нагревании жирных кислот при температуре 100-150 °С происходит снижение кислотного числа с 180-190 до 35-40 мг КОН/г и ниже. При этом молекулы эфиров кислот могут вступать в соединение между собой, образуя полимерную цепочку, что обуславливает их высокие смазочные свойства [5].

При использовании жирных кислот таллового масла в продуктах реакции (этерификации) синтеза алифатических эфиров, кроме исходных веществ (жирные кислоты таллового масла и алифатический спирт), конечных (эфиры алифатических кислот), реакционной воды и кислотного катализатора, никаких иных химических соединений или продуктов не образуется. При использовании технических растительных масел (льняного, подсолнечного, рапсового) в результате процесса получения алифатических эфиров, способных заменять 12-оксистеариновую кислоту образуется реакционный глицерин. При этом после синтеза алифатических эфиров в реакционной массе содержатся непрореагировавшие растительное масло, эфиры, щелочной катализатор и реакционный глицерин, концентрация которого может достигать 7-8% от массы полученных эфиров. Его присутствие может существенно повлиять на свойства синтезированных смазок в отношении смазывания им электрооборудования промышленных электромобилей [6].

По ряду сообщений присутствие глицерина в таких смазках способствует повышению термической и окислительной стабильности, что с точки зрения долговечности работы (практически без замены на весь

срок эксплуатации) этих двигателей очень важно. Также глицерин способствует уменьшению способности к экологическому загрязнению при утилизации электротранспорта, в котором в роли базовых при производстве литиевых смазок используются традиционные нефтяные масла. В данной работе в качестве последних были использованы наиболее экологичные образцы минеральных нефтяных масел, выпускаемых ПАО «Славнефть-ЯНОС» И-20А, И-40А.

Образцы смазок готовили, загущая Li-мылом, полученным на основе эфиров жирных кислот таллового масла смесь индустриальных масел И-20А и И-40А (ГОСТ 20799-88) производства «Славнефть-ЯНОС» при соотношении 1:1. Вязкость такой смеси при 0, 20 и 50 °С соответственно составляла 430-432, 160-200 и 35-50 сСт. Для получения Li-мыла также использовали этиловые эфиры технического подсолнечного масла, которые содержали 80-90 % мас. основного компонента (эфира) и 5-10% мас. глицерина. Омыление эфиров осуществляли в масляной среде водным раствором LiOH. Мыльно-масляный расплав нагревали до 200 °С и охлаждали при непрерывном перемешивании до 20 °С. После охлаждения через сутки смазку гомогенизировали и проводили анализ стандартными методами с определением механической стабильности, термоупрочнения и других показателей.

Все готовые смазки не содержали воды и имели нейтральную или слабощелочную реакцию. Для исследования влияния концентрации глицерина на процесс образования консистентных смазок и их свойства, в базовые масла (И-20А, И-40А) добавляли алифатические (этиловые) эфиры жирных кислот таллового масла, в которых отсутствующий глицерин компенсировался введением химически чистого (ГОСТ 6259-75 марки хч) глицерина с концентрацией от 0,5 до 7,0%

Свойства полученных смазок приведены в таблице 1.

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, 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% существенно уменьшает предел прочности и вязкость смазки, а также ухудшает ее коллоидную стабильность, снижает консистенцию. Дальнейшее повышение концентрации глицерина до 3% еще в большей степени снижает загущающее действие Li-мыла (см. табл. 1), ухудшая коллоидную стабильность и повышая пенетрацию масла, что благоприятно влияет на смазывающие свойства данного компаунда трансмиссии и электродвигателя.

Таблица 1. Свойства смазок на основе масла И-40А и этиловых эфиров таллового масла, омыленных гидроокисью лития с добавками глицерина

Концентрация глицерина, % мас. на загуститель	Предел прочности на сдвиг τ , г/см ² , при 80°С	Эффективная вязкость при 100 сек ⁻¹ , пз, при температуре, °С			Термическая стабильность (предел прочности при 20 °С, г/см ²)		Температура каплепадения, °С	Пенетрация при 25 °С
		0	20	50	исходной	после термообработки в течение 1 ч при 120 °С		
0	7,9	590	400	350	17,5	20,7	196	200
0,5	9,0	590	390	280	11,2	7,4	192	210
1,0	5,0	340	250	150	10,0	11,0	192	240
3,0	2,0	270	180	110	9,3	11,6	180	260
5,0	2,5	220	160	100	7,3	9,5	179	280
7,0	2,5	230	160	100	3,8	9,8	177	300

Введение свыше 3% глицерина до 7% практически не изменяет свойства смазки. Его присутствие не сказывается на термоупрочнении исследованных смазок, а также на их вязкостно-температурной и вязкостно-скоростной характеристиках.

Таким образом, увеличение присутствия глицерина в базовых образцах этиловых эфиров растительных масел незначительно влияет на свойства литиевых смазок, используемых для электромобилей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Wang J.* Study of 2,5-dimercapto-1,3,4-thiadiazole derivatives as multifunctional additives in water-based hydraulic fluid / Wang J., Wang J., Li C., Zhao G., Wang // *Industrial Lubrication and Tribology*. 2014. Т.66. №3. С. 402-410.
2. *Лихтеров С.Д.* Исследования межкомпонентного взаимодействия при разработке трансмиссионных масел / С.Д. Лихтеров, Л.Я. Левин, И.В. Облачиков и др. // *Материалы технического совещания «Пути повышения экономичности и экологической безопасности применения масел в автомобильной технике»*. М., 1997. С. 29.
3. *Морозова В.Ю.* Изучение физико-химических свойств отечественных технических растительных и животных жиров для разработки технологии синтеза на их основе новых компонентов, необходимых для производства различных конструкционных материалов / В.Ю. Морозова, В.Л. Баклагин, В.В. Соловьев // *Актуальные вопросы современного химического и биохимического материаловедения: материалы V Междунар. молодежной науч.-практ. школы-конференции / Башкирский гос.ун-т; отв. ред. О.С. Куковинец, 2018 г. Уфа, 2018. С. 183-188.*
4. *Салтыков А.С.* Исследование смазочной способности смазочно-охлаждающей жидкости с присадками / А.С. Салтыков, Д.Р. Погодин, В.В. Соловьев // *Все-рос. конф. с междунар. участием «Проблемы и инновационные решения в химической технологии» (ПИРХТ-2019), 7-9 октября 2019 г., г. Воронеж, 2019. С. 95-96.*
5. *Хайдарова Г.Р.* Ингибиторы коррозии для защиты нефтепромыслового оборудования // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. №6. С. 286.
6. *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. С. 347.

СРАВНЕНИЕ ЗАЩИТНО-СМАЗОЧНЫХ СВОЙСТВ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СИЛИКОНОВЫХ ЖИДКОСТЕЙ, ДИОКТИЛСЕБАЦИНАТА И АЛИФАТИЧЕСКИХ ЭФИРОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

М.С. Ермаков, М.А. Червочкин, В.В. Соловьев, А.В. Соколов

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

Ярославский государственный технический университет

Целью данной работы являлся поиск отечественных производителей синтетических жидкостей и сравнение с их импортными аналогами для использования их в качестве основы различных композиций жидких и пластичных смазок для электромобилей. В работе также проводились исследования противокоррозионных и защитных свойств алифатических эфиров жирных кислот таллового и технического образца подсолнечного масла, которые разработаны на кафедре ХТОВ.

Ключевые слова: смазочные материалы, синтетические жидкости, алифатические эфиры жирных кислот, диоктилсебацинат, полиметилсилоксаны

COMPARISON OF PROTECTIVE AND LUBRICATING PROPERTIES OF DOMESTIC AND FOREIGN SILICONE LIQUIDS, DIOCTYLSEBACINATE AND ALIPHATIC ESTERS OF FATTY ACIDS OF VEGETABLE OILS

M.S. Ermakov, M.A. Chervochkin, V.V. Soloviev, A.V. Sokolov

Scientific Supervisor - **V.V. Soloviev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The purpose of this work was to search for domestic manufacturers of synthetic liquids and compare them with their imported analogues for using them as the basis of various compositions of liquid and plastic lubricants for electric vehicles. The work also conducted research on the anticorrosive and protective properties of aliphatic fatty acid esters of tallow and technical sunflower oil samples, which were developed at the Department of HTOV.

Keywords: lubricants, synthetic liquids, aliphatic esters of fatty acids, dioctyl sebacinate, polymethylsiloxanes

В настоящее время наряду со смазочными материалами на нефтяной основе широкое распространение получили синтетические жидкости, используемые самостоятельно или в качестве основы различных композиций жидких и пластичных смазок [1]. В качестве основных составляющих таких композиций в отечественной промышленности до введения экономических санкций использовались, как правило, импортные образцы силиконовых жидкостей и их производные [2]. Поэтому после ужесточения санкций ряд отечественных машиностроительных предприятий столкнулся с проблемой отсутствия на рынках ряда зарубежных образцов синтетических жидкостей.

Целью данной работы являлся поиск отечественных производителей синтетических жидкостей, установление их основных показателей и сравнение образцов товарных продуктов с импортными аналогами. В работе также проводились исследования противокоррозионных и защитных свойств отечественных и импортных образцов, для придания которым базовых технологических показателей в рамках импортозамещения было предложено вводить в них добавки масел IV или V группы в виде этиловых эфиров жирных кислот таллового или технического образца подсолнечного масла, разработанных на кафедре ХТОВ [3, 4]. В то же время для придания базовым отечественным образцам синтетических жидкостей наиболее часто применяемых в качестве смазок для электромобилей [5]. Отечественные и зарубежные образцы силиконовых (синтетических) жидкостей, а также масла IV и V группы сравнивались с диоктилсебацинатов (ДОС). Поведение смазочных материалов изучалось в тройной системе металл — жидкость — электролит.

В продолжение развития работ [6], в которой изучались краевые углы смачивания и поверхностное натяжение импортных и отечественных образцов силиконовых жидкостей на границе с металлом нами определялись:

- поверхностное натяжение синтетических масел на границе с водой стандартными методами,
- краевые углы капли воды на поверхности этих продуктов,
- их защитные свойства в термовлагокамере Г-4,
- защитные свойства синтетических масел в морской воде и камере сернистого газа.

Коррозионные свойства оценивали по изменению массы медной пластинки после выдержки её в продукте в течение 48 часов при 100 °С (ГОСТ 2917-76).

Диоктилсебацинатов (ДОС) представляет собой прозрачную (с желтизной) жидкость с плохо различимым фруктовым запахом. Является сложным эфиром себациновой кислоты. Формула: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{OOC}(\text{CH}_2)_8\text{COO}(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3$ или $\text{C}_{26}\text{H}_{50}\text{O}_4$.

Этиловые эфиры технического подсолнечного масла представляли собой прозрачную светло-желтую жидкость с усредненной молярной массой 308 г/моль и формулой $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{-CH=CH-(CH}_2)_7\text{COOCH}_2\text{CH}_3$.

Метиловые эфиры жирных кислот таллового масла (МЭЖКТМ) после вакуумной разгонки представляли прозрачную светло-желтую жидкость с усредненной молярной массой 296 г/моль и формулой $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{-CH=CH-(CH}_2)_7\text{COOCH}_3$.

Из представленных данных видно, что ДОС и алифатические эфиры таллового и технического подсолнечного масел имеют похожую структуру и свойства, отвечающие за возможность использования их в качестве базовых компонентов пластичных смазок для электромобилей.

В таблице 1 представлены результаты исследований по использованию базовых образцов зарубежных и отечественных синтетических жидкостей в качестве компонентов пластичных смазок.

Как видно из этих данных, на сухих металлических поверхностях различные силиконовые жидкости ведут себя примерно одинаково – хорошо растекаются по металлу, имеют небольшое, но примерно одинаковое поверхностное натяжение. Диоктилсебацат и алифатические эфиры растительного и таллового масла, с которыми сравниваются различные типы полисилоксанов, характеризуется более высокими значениями краевого угла и поверхностного натяжения.

На границе с водой различия в поведении синтетических жидкостей становятся более существенными и качественно иными. Поверхностное натяжение диоктилсебацата и алифатических эфиров становится меньше, чем у полисилоксанов. Также меньшими становятся и краевые углы этого эталлонного смазочного материала. Однако вне зависимости от поверхностного натяжения на границе с водой и от значения краевых углов капли воды неингибированные синтетические жидкости не обладают какими-либо защитными свойствами. Так, в термовлагокамере и в камере агрессивной среды через 0,5–2 ч коррозия защищаемых полисилоксанами стальных пластинок достигает заметной величины, а в камере SO_2 достигает максимума.

В работе произведен поиск отечественных и импортных производителей синтетических жидкостей-полисилоксанов. Проведено сравнение различных видов полисилоксанов с перспективой использования в качестве основы различных композиций жидких и пластичных смазок для электромобилей. Установлено, что в качестве заменителя базового компонента жидких и пластичных смазок – диоктилсебацата с успехом могут применяться эфиры жирных кислот таллового и технического образца подсолнечного масла, которые разработаны на кафедре ХТОВ.

Таблица 1. Характеристика зарубежных и отечественных синтетических жидкостей

Продукты	Вязкость при 20°С, сСт	Растекаемость по стали 45		Взаимодействие с водой		Коррозия, баллы				Относительное сопротивление пленки, %	
		краевой угол, θ°	поверхностное натяжение на границе с воздухом, эрг/см ²	поверхностное натяжение на границе с водой, эрг/см ² **	краевой угол, θ°	Ст. 10, Г-4 (30 мин)	Ст. 10, морская вода (2 ч)*	медь (48 ч, 100°С)	камера SO ₂ (24 ч)	ОПС	ООС
Диоктилсебацинат (ДОС), Россия ГОСТ 19096-73	23,6	10	32,3	35,9	60	1,5	0,07	+0,25	10	0	5,0
Этиловые эфиры технического подсолнечного масла, разработаны в научной лаборатории ЯГТУ	21,3	12 слабо растекается, проявляя адгезию	22,3	45,6	62	1,4	0,1	+0,3	10	0	6,0
Метиловые эфиры жирных кислот таллового масла, разработаны в научной лаборатории ЯГТУ	22,8	14 слабо растекается, проявляя адгезию	24,6	54,1	65	1,6	0,09	+0,15	10	0	7,0
Полиметилсилоксан 50 (ПМС-50), Россия ГОСТ 13032-77	50	Растекается	21,5	100	90	0,6	0,25	+0,4	10	12,0	17,5
Полиметилфенилсилоксан 1322/300 (ФМ-1322/300), зарубежные производители	12,9	Растекается	22,4	1090	65	0,8	0,20	+0,7	10	19,1	30,0
Полиэтилсилоксан ПЭС-С-2, Российские производители ГОСТ 13004-77	190-290	Растекается	—	6170	60	1,2	0,12	—	10	24,0	18,0
Полиметилфенилсилоксан ПФМС-4, преимущественные производители ГОСТ 15866-70	85	Растекается	24,7	204,8	70	0,9	0,25	+0,4	10	0	9,4
Полиметил-γ- трифторпро-пилсилоксан ФС-169/300, аналог зарубежного образца ТУ П-94—67	63,8-66,0	Растекается	—	231	75	1,5	0,27	—	10	0	4,4
Полиорганосилоксановая жидкость ХС-2-1ВВ, совместное производство России и зарубежных компаний ТУ П-94—67	85,0	Растекается	—	582,3	65	1,8	0,25	—	10	—	—

* При защите металла ингибированными жидкостями за это время коррозия не появляется.

** В связи с тем, что исследуемые жидкости образуют Н-комплексы с водой, под величиной поверхностного натяжения в данном случае принимается вся поверхностная энергия, в значение которой собственно поверхностное натяжение жидкости составляет незначительную величину. Остальная энергия приходится на водородную связь и на дипольное электростатическое взаимодействие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богданов В.С.* Технологии и средства обеспечения качества топливно-смазочных материалов в АПК / В.С. Богданов, Н.Н. Пуляев, Ю.С. Коротких. М.: ООО УМЦ «Триада», 2016. 16 с.
2. *Ткаченко И.К.* Разработка метода получения смазки на основе полигликолевых эфиров синтетических жирных кислот и олеиновой кислоты для прокатки стальных полос / И.К. Ткаченко, Д.Р. Погодин, В.В. Соловьев // Всероссийская конференция с международным участием «Проблемы и инновационные решения в химической технологии» (ПИРХТ-2019), 7-9 октября 2019 г., г. Воронеж, 2019. С. 111-112.
3. *Ткаченко И.К.* Разработка технологии получения консервационных составов для машиностроения / И.К. Ткаченко, М.С. Красикова, В.В. Соловьев // Семьдесят вторая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 24 апреля 2019 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2019. С. 224-228. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
4. *Волков И.М.* Пластификаторы на основе жирных кислот таллового масла для эластомерных композиций / И.М. Волков, О.Ю. Соловьева, В.В. Соловьев // Семьдесят вторая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 24 апреля 2019 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2019. С. 314-317. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM)
5. Масло вверх: как изменился рынок масла в России. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4079828>.
6. Аппроксимация границы расслоения в тройных системах вода-гидротроп-масло / А.А. Кучиерская, А.В. Дияковская, А.Р. Сайфутдинова, А.П. Семенов, А.А. Новиков // Химия и технология топлив и масел. 2021. №5. С. 20-22.

УДК 629.2.083.4

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

М-Х.Х. Наурбиев, А.В. Соколов

Научный руководитель – **А.В. Соколов**, канд. техн. наук

Ярославский государственный технический университет

Целью работы является разработка рекомендаций и создание конструкции электроцикла, относящихся к современным способам регулирования дорожного движения для средств индивидуальной мобильности. Для реализации поставленной цели необходимо найти решение основных задач, к числу которых можно отнести поиск проблем, связанных с появлением средств индивидуальной мобильности и анализ новых документов, относящихся к регулированию дорожного движения в рассматриваемой области.

***Ключевые слова:** средства индивидуальной мобильности, классификация, требования, регулирование дорожного движения*

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR TECHNICAL REGULATION FOR MEANS OF INDIVIDUAL MOBILITY

M-Kh.Kh. Naurbiev, A.V. Sokolov

Scientific Supervisor – **A.V. Sokolov**, Candidate of Technical Sciences

Yaroslavl State Technical University

The aim of the work is to develop recommendations and create a design of an electric cycle related to modern methods of traffic regulation for means of individual mobility. To achieve this goal, it is necessary to find a solution to the main tasks, which include the search for problems associated with the emergence of means of individual mobility and the analysis of new documents related to the regulation of road traffic in this area.

***Keywords:** means of individual mobility, classification, requirements, traffic regulation*

За последние 10 лет условия движения на дорогах крупных городов претерпели значительные изменения. Сейчас автомобили уже рассматриваются как неустойчивый вид транспорта, в том числе общественного. Исходя из этого, ученые и политические деятели смотрят в сторону развития экологически чистого, мобильного, легкого транспорта [1].

Сокращение использования автомобилей может помочь в достижении многих стратегических целей – города могут избавиться от пробок, сократить выбросы парниковых газов, снизить уровень шума и улучшить качество воздуха. В то время как количество транспортных средств быстро растет, городские планировщики и специалисты по транспорту пытаются изменить выбор режима передвижения людей в сторону менее энергоемких видов транспорта – пеших прогулок, езды на велосипеде и т. д.

Среда для СИМ в устойчивом городском развитии должна рассматриваться как часть городской транспортной системы и иметь сопутствующую инфраструктуру, схожую с классическим автомобильным транспортом: структурированные места стоянки и хранения, станция технического обслуживания, обустроенные и безопасные дороги. В этой цепочке необходимо четкое определение и классификация существующих СИМ с целью разработки основных требований к безопасности их передвижения в городской среде с анализом основных типичных расстояний поездки, скорости и других параметров для различных сосуществующих видов транспорта, как это сделано в европейских городах [2].

Для разработки рекомендаций по регулированию движения на СИМ необходимо правильно классифицировать существующие СИМ.

Во-первых, первым критерием классификация СИМ может служить максимальная скорость движения.

Во-вторых, критерием разделения СИМ может являться их максимальная масса.

Однако данная система классификации недостаточно в полной степени отражает аспекты, необходимые для оценки безопасности дорожного движения. В первую очередь, из-за отсутствия критерия по определению мощности электродвигателя, что при движении в городских условиях имеет ключевое значение.

В результате анализа основных параметров СИМ установлено, что скоростные характеристики их значительно выше, чем указанные в определённых критериях, что не позволяет применять данную систему в качестве классификационной и требует применения нового, не используемого ранее параметра – мощности. Опыт пользования СИМ в Российской Федерации и анализ научных источников, посвященных изучению данного вопроса, позволил выделить только одну классификационную систему, предложенную С.В. Шелмаковым (табл. 1) [3].

Предлагаемая классификация устанавливает соответствие между массогабаритными и скоростными характеристиками средств индивидуальной мобильности и расчётными параметрами соответствующей инфраструктуры, предназначенной для передвижения с использованием этих ТСИМ.

Мощностные характеристики в данной классификации играют второстепенную роль, поскольку мощность двигателя может использоваться не только для обеспечения высокой скорости движения СИМ, но и для обеспечения их самобалансирования, перемещения более тяжёлых людей, а также для обеспечения преодоления крутых подъёмов или сильного ветра.

Таблица 1. Классификация СИМ согласно С.В. Шлемакову

Критерии	СИМ	Малые транспортные средства		
		Велосипеды и приравненные к ним транспортные средства (в т.ч. категории L1)	Мопеды и приравненные к ним транспортные средства (в т.ч. категории L2)	Мотоциклы, трициклы, квадроциклы (в т.ч. категории L3 – L7)
Габариты	$D \leq 1200$; $\Pi \leq 800$; $B \leq 12000$ мм ($D+\Pi+B \leq 2000$ мм) Нагруженная масса ≤ 25 кг	$D \leq 3000$; $\Pi \leq 1000$; $B \leq 2000$ мм. Ненагруженная масса: ≤ 75 кг	$D \leq 4000$; $\Pi \leq 2000$; $B \leq 2500$ мм. Ненагруженная масса: ≤ 270 кг	$D \leq 4000$; $\Pi \leq 2000$; $B \leq 2500$ мм. Ненагруженная масса: ≤ 550 кг
Максимальная конструктивная скорость	≤ 15 км/ч	≤ 25 км/ч	≤ 50 км/ч	> 50 км/ч
Максимальная конструктивная скорость	$\leq 0,5$ кВт	≤ 1 кВт	≤ 4 кВт	> 4 кВт

Таким образом, несмотря на наиболее полную систему классификации СИМ по С.В. Шлемакову, отнести конкретный СИМ на основании конкретных параметров к определенной группе является проблематичным.[1].

В связи с большим разнообразием СИМ, представленных сегодня на рынке, совершенствуются их характеристики, в том числе и скоростные, поэтому в рамках данного исследования по результату анализа потребительского спроса на различные модели СИМ с присущими им характеристиками предлагается использовать систему классификации, основанную на двух наиболее значимых параметрах – массы и мощности, в связи с тем, что именно они являются основными при проведении расчетов по определению степени аварийности рассматриваемых средств.

После определения к какому классификационному признаку относится СИМ, можно производить технические регулирования для безопасного передвижения СИМ:

1. Ограничение максимальной скорости движения до 25 км/ч. Контроль за соблюдением скоростного режима должен осуществляться сотрудниками ГИБДД.

2. Введение системы маркировки СИМ, содержащей основные сведения, в том числе о мощности двигателя.

3. Введение системы административных штрафов для пользователей СИМ, наравне с автомобилистами.

4. Запрет въезда СИМ на пешеходные дорожки, и предоставление для передвижения выделенных полос на тротуарах, проезжей части и т.д.

5. Ограничение минимального возраста для управления СИМ. Возможность выезда на проезжую часть должна предоставляться лицам не моложе 16 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Госавтоинспекция. URL: <https://гибдд.рф/t/76> (Дата обращения: 14.09.2021).
2. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, В.П. Воронов, А.П. Болотин [и др.]; под ред. Е.С. Кузнецова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1991. 413 с.
3. Шелмаков С.В. Разработка принципов и критериев для определения мест размещения станций велшеринга на примере города Москвы / С.В. Шелмаков, А.Б. Гальшев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2018. №4. 8 с.

СЕКЦИЯ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»

УДК 359:347.77

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 3D-ПЕЧАТИ

Н.Е. Воробьев, С.О. Курин, М.С. Балунов

Научный руководитель – **М.С. Балунов**, канд. пед. наук, доцент

Ярославское высшее военное училище ПВО

Рассматриваются способы повышения эффективности развития аддитивных технологий к альтернативной традиционному производству, требующему огромных инвестиций и ресурсов.

Ключевые слова: производство, усовершенствование, экология, экономия

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF 3D PRINTING

N.E. Vorobyev, S.O. Kurin, M.S. Balunov

Scientific Supervisor – **M.S. Balunov**, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor

Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

The ways of increasing the efficiency of the development of additive technologies to alternative traditional production, which requires huge investments and resources, are considered.

Keywords: production, improvement, ecology, economy

Во время пандемии COVID-19 аддитивные технологии стали выгодной альтернативой традиционному производству, требующему огромных инвестиций и ресурсов. Еще одно весомое преимущество — значительно меньший уровень отходов.

По данным Grand View Research, объем мирового рынка 3D-печати в 2019 году оценивался в \$11,58 млрд, а с 2020 по 2027 год его среднегодовой прирост составит более 14%. К 2027 году в мире будет 8 млн 3D-принтеров – почти в шесть раз больше, чем в 2018-м. 77% из них приходится на промышленные принтеры. С помощью 3D-печати уже создают

одежду и обувь, предметы интерьера, механические детали и даже протезы. На 3D-принтерах печатают многие детали для двигателей Rutherford, устанавливаемых на ракете-носителе Electron.

Безопасно ли печатать двигатели самолетов на 3D-принтере Индустрия 4.0? В медицине и здравоохранении на 3D-принтерах печатают кабели и другие детали для медицинского оборудования. Еще один удивительный эксперимент – 3D-печать фрагментов человеческих костей прямо в организме, вместо поврежденных или утраченных. Для этого используют специальные биосовместимые чернила.

Аддитивные технологии применяются в архитектуре: из отпечатанных деталей возводят целые каркасные дома, что делает их намного дешевле обычных аналогов. Как пишет The Guardian, в калифорнийской Коачелла Вэлли такими застроили целый микрорайон. Компания-застройщик Mighty Buildings утверждает, что это позволило сэкономить 95% рабочего времени строителей.

Это не единичный случай. Boeing и Airbus давно занимаются аддитивными технологиями — когда 3D-принтер изготавливает деталь послойно, ориентируясь на компьютерную модель. Например, в каждом пассажирском лайнере Boeing 787 есть около 30 деталей, напечатанных по такому алгоритму, а в Airbus A350 и A320neo — целый титановый кронштейн, который соединяет крылья с двигателем. В 2016 году компания Airbus показала первый в мире полностью напечатанный на 3D-принтере самолет Thor. Он, конечно, больше похож на авиамодель: длина – 4 м, вес – 21 кг, управление – дистанционное.

Россия не отстает. В 2020 году в Казани протестировали самолет с двигателем, напечатанным на 3D-принтере. Легкий беспилотник пролетел на высоте 170 м и двигался со скоростью 150 км/ч. В России печатают и более масштабные детали — например, для нового лайнера МС-21 и вертолета К-226. Их создают на ферме 3D-принтеров. Центра аддитивных технологий «Ростеха». Выпуск YouTube-канала «Индустрии 4.0», посвященный строительству домов с помощью 3D-печати. Сейчас мы в шаге от того, чтобы использовать 3D-печать для создания необходимых объектов на поверхности Луны, используя для этого лунную пыль. Это позволит значительно упростить колонизацию спутника: не придется доставлять туда тяжелые грузы и технику.

Как печатают детали. В «Ростехе» детали печатают из металла – но в виде порошка с определенными свойствами и размером гранул. При этом каждый 3D-принтер предназначен для определенного вида металла и печатать на другом материале не может.

Сначала устройство внутри принтера наносит на специальную платформу слой металлического порошка. Затем лазер, работающий по заранее установленной программе, нагревает и сплавляет этот слой по-

рошка, из-за чего он затвердевает. Затем платформа, на которой происходит выращивание, опускается на толщину слоя, и все повторяется. Так происходит несколько раз – слой за слоем. В зависимости от размера детали, процесс длится от нескольких часов до нескольких дней.

Плюсы 3D-печати.

1. Детали становятся легче. Это важно в авиастроении: сэкономленный вес можно использовать, например, для дополнительных пассажирских или багажных мест.

2. Экологичность. При создании деталей традиционным способом нужный элемент вырезают из куска металла, а остальное выбрасывают. Во время работы на 3D-принтере отходов практически нет.

3. Создание форм, которые невозможно воспроизвести другими способами.

4. Быстрая скорость создания деталей.

Стоит отметить, что на 3D-принтере вряд ли когда-нибудь будут печатать детали, которые дешево и быстро изготавливаются с помощью стандартных технологий.

Заключение

Подводя итоги, хочется отметить, технология дает возможность делать конструкции, которые нельзя создать стандартными методами — например, кронштейн. Он бы состоял из нескольких частей и, соответственно, пришлось бы делать несколько механообработок, сборочных операций. Все это отнимает время, а 3D-принтер дает возможность ускорить процесс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рэдвуд Б. 3D-печать. Практическое руководство / Б. Рэдвуд, Ф. Шофер, Б. Гаррэт. М.: ДМК-Пресс, 2020. 220 с.
2. Кэнесс Э. Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития / Э. Кэнесс, К. Фонда, М. Дзеннар. МЦТФ, 2013. URL: https://himfaq.ru/books/3d-pechat/Dostupnaya_3D_pechat_dlya_nauki_obrazovaniya-kniga.pdf?ysclid=11xkk2iykg
3. <https://trends.rbc.ru/trends/industry/6066d7089a79474a1792a375>

УДК 621.432

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ВИБРАЦИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА МНОГОЦЕЛЕВОГО МАЛОГАБАРИТНОГО ФОРСИРОВАННОГО ДВИГАТЕЛЯ

М.А. Якушев, А.И. Яманин

Научный руководитель – **А.И. Яманин**, д-р техн. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Рассмотрен способ расчетной оценки рациональных значений упругих и демпфирующих свойств опор двигателя, способствующих снижению его виброактивности.

Ключевые слова: вибрации, метод конечных элементов

HIGH-FREQUENCY VIBRATION OF THE CRANKSHAFT OF A MULTIPURPOSE SMALL-SIZED FORCED ENGINE

M.A. Yakushev, A.I. Yamanin

Scientific Supervisor – **A.I. Yamanin**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

A method of calculating the rational values of the elastic and damping properties of the engine supports, contributing to the reduction of its vibration activity, is considered.

Keywords: vibrations, finite element method

Перспективным направлением развития современного двигателестроения является разработка многоцелевых высокофорсированных двигателей, применение которых не ограничивается определенным видом транспорта. Одной из важных особенностей конструкции таких двигателей является малые масса и габаритные размеры силовой установки. Примером такой разработки является проект 12-цилиндрового V-образного дизеля мощностью 368 кВт с удельной массой 1,05 кг/кВт и литровой мощностью 55 кВт/л (рис. 1).

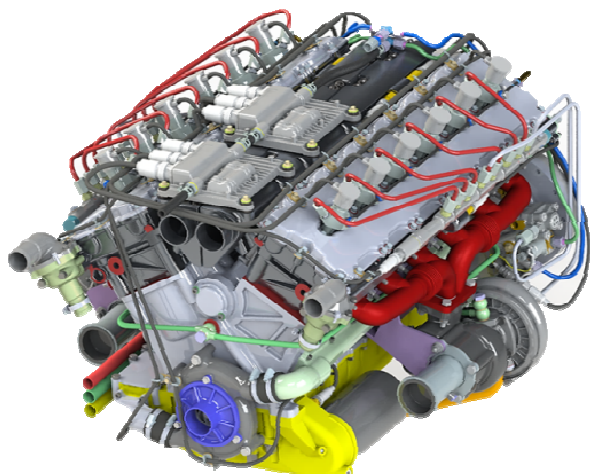


Рис. 1. Твёрдотельная модель двигателя

Одним из основных общих требований к двигателям любых назначений является их малая виброакустическая активность, причем, на каждом виде транспорта существуют свои нормативы по вибрации. Расчет виброактивности двигателя в низко- и высокочастотной областях должен производиться на ранних стадиях его проектирования. При этом следует учитывать контактное взаимодействие звеньев и быстропеременный характер нагружения. Ранее показано, что для анализа вибраций двигателя в составе силового агрегата (СА) эффективно применение метода конечных элементов (МКЭ) в среде тяжелого программного продукта ANSYS/LS-DYNA [1].

Теоретически для повышения достоверности результатов расчетов необходимо при создании модели двигателя как можно точнее описывать геометрию деталей. На практике это приводит к усложнению модели, существенному росту времени расчёта высокочастотной вибрации, объёму дисковой памяти и пр. вплоть до невозможности получения каких-либо результатов. В связи с этим произведено разумное упрощение геометрии модели (рис. 2).

В процессе расчета к днищам поршней прикладывались суммарные движущие силы, а к поверхностям днищ головок цилиндров – газовые силы. В качестве кинематических граничных условий использовались упругие опоры, реализующие опорное и неопорное демпфирование. Такие опоры моделировались специальными нуль-мерными конечными элементами.

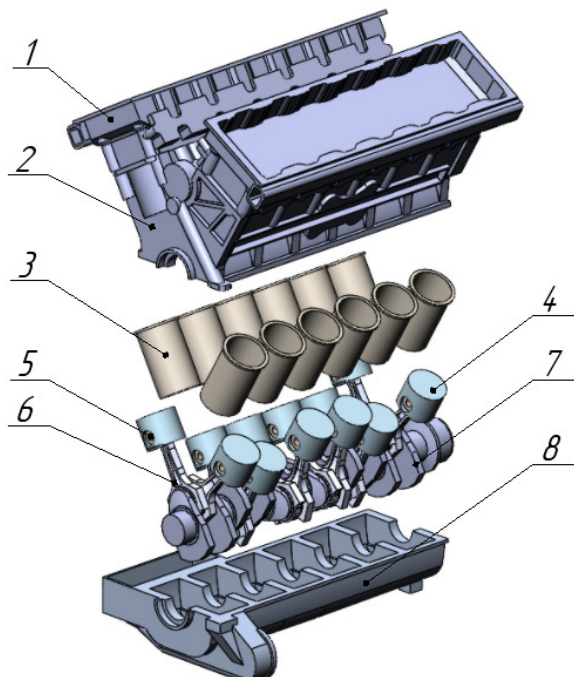


Рис. 2. Расчетная модель двигателя:

- 1 – головка блока цилиндров; 2 – блок цилиндров; 3 – гильза;
 4 – поршень; 5 – поршневой палец; 6 – шатун; 7 – коленчатый вал;
 8 – подмоторная рама

Решение задачи высокочастотной вибрации и в таком виде оказалось невозможным ввиду ограниченных ресурсов компьютера, поэтому при расчете использовалась модель (рис. 3), состоящая из коленчатого вала и фиктивных опор, моделирующих коренные подшипники с прилегающими участками корпуса (следует заметить, что здесь возникает необходимость решения задачи идентификации упругих параметров таких опор). Поверхности шеек в данной модели разделены на части, к которым далее прикладываются радиальные и тангенциальные силы (рис. 4).

Расчет вибрации производился в течение 4 рабочих циклов с шагом по времени 10^{-6} с. В ходе расчета определялись виброскорости, виброускорения и эквивалентные напряжения в точках расположенных на галтелях шатунных и коренных шеек вала.

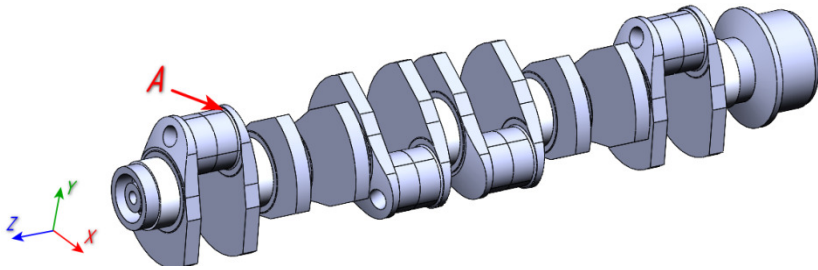


Рис. 3. Модель вала для анализа высокочастотной вибрации двигателя

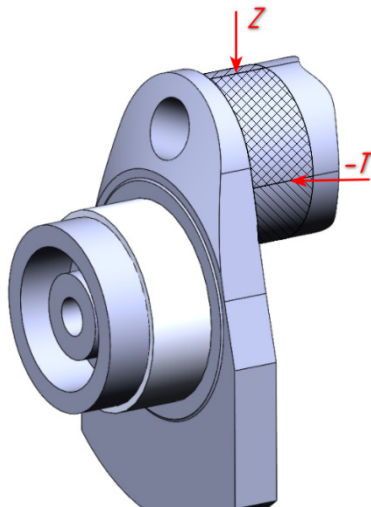


Рис. 4. Схема приложения нагрузки на шатунную шейку

Для интегральной оценки вибрационного состояния вычислялись среднеквадратичные значения (СКЗ) различных параметров (виброскорости, виброускорения, напряжений и пр.) в любой точке модели [1, 2]

$$\text{СКЗ} = \sqrt{\frac{1}{2} \sum A_i^2},$$

где A_i – амплитуда i -й гармонической составляющей изучаемого результата.

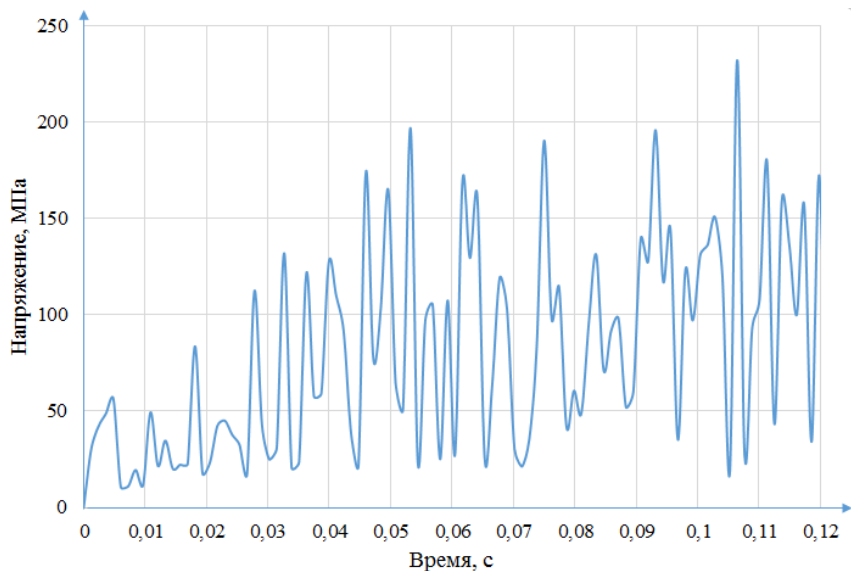


Рис. 5. Изменение эквивалентных напряжений в точке А (см. рис. 3)

На рис. 5 показано изменение эквивалентных напряжений в точке А на галтели первой шатунной шейки (см. рис. 3). Видно, что максимальные мгновенные значения этих напряжений не превышают 250 МПа, тогда как предел прочности сталей, из которых может быть выполнен коленчатый вал, составляет 400-785 МПа. Таким образом, при выбранных размерах вала и уровне форсирования двигателя прочность вала, подверженного колебаниям всех видов, обеспечивается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яманин А.И. Компьютерные вибрационные модели поршневых двигателей. Монография. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2019. 176 с.
2. Новиков Д.С. Анализ вибрации в составе автомобильного силового агрегата: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Новиков Дмитрий Сергеевич. Ярославль: ЯГТУ, 2013. 140 с.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ВОДОМАСЛЯНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Е.И. Яринич, У.В. Сыщанко

Научный руководитель – **У.В. Сыщанко**, ст. преподаватель

Вологодский государственный университет

Рассматривается принципиальную схему работы водомасляных сепараторов. Указаны недостатки работы данного оборудования.

***Ключевые слова:** водяная эмульсия, сепаратор, сточные воды, нефть, воды, нефтешламы*

WORKING PRINCIPLE OF OIL-WATER SEPARATOR

E.I. Yarinich, E.V. Sytsyanko

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

Vologda State University

The schematic diagram of the operation of oil-water separators is considered. The shortcomings of the operation of this equipment are indicated.

***Keywords:** water emulsion, separator, waste water, oil, water, oil sludge*

Все мы знаем старую поговорку о том, что масло и вода не смешиваются, и вам нужно всего лишь налить немного растительного масла в воду, чтобы увидеть, как оно всплывает вверх, отделяясь само по себе. Однако в отрасли очистки сточных вод не так просто разделить эти два несовместимых вещества. На самом деле удаление масла из сточных вод при переработке требует использования специального оборудования.

Водомасляные сепараторы являются компонентом очистки сточных вод, используемым наряду с различными процессами физической, химической и биологической фильтрации, предназначенными для отделения отходов от воды, чтобы чистая вода могла быть возвращена в мир, откуда она поступила. Различные отрасли промышленности могут иметь разные способы удаления твердых отходов из сточных вод.

Например, в то время как флотация растворенным воздухом (обработка воды DAF) часто используется для очистки промышленных сточных вод, флотация растворенным газом (обработка воды DGF) чаще ис-

пользуется в нефтяной промышленности. Однако независимо от того, поступают ли сточные воды из жилых домов, коммерческих или промышленных предприятий, все они подлежат обработке, чтобы можно было удалить отходы и сохранить чистую воду.

Проще говоря, водомасляный сепаратор делает именно то, что можно было ожидать от названия — он отделяет масло и взвешенные твердые частицы от воды, чтобы их можно было убрать. Бытует мнение о том, что масло отделяется от воды автоматически.

Это правда, что нефть и вода имеют гравитационную разницу. Нефть легче воды, поэтому она всплывает наверх. Однако из-за характера сточных вод, насыщенных всевозможными загрязнениями, некоторые частицы масла, особенно мельчайшие капельки, могут задерживаться.

Водомасляные сепараторы разработаны специально для очистки нефти на основе разницы в плотности между нефтью и водой, что позволяет более тяжелым твердым частицам (шлам) оседать на дно, в то время как нефть поднимается вверх, оставляя дополнительные сточные воды в среднем слое. Затем шлам можно соскрести, масло снимать сверху, а сточные воды можно направить на дальнейшую фильтрацию, аэрацию, очистку воды DAF и химическую обработку в зависимости от очищаемой воды.

Принцип действия можно описать следующим образом. После того, как сточные воды проходят через фильтры для отделения самых крупных твердых частиц, они направляются в водомасляный сепаратор для прохождения очистки. В большинстве случаев сточные воды проходят через ряд пластин, как правило, под наклоном. Эти пластины помогают разделить масло, воду и шлам на три отдельных пространства. Тяжелый ил и взвешенные вещества оседают на дно. Однако, поскольку частицы масла могут быть очень маленькими, пластины выполняют особую функцию.

Когда сточные воды проходят по пластинам, частицы масла падают на поверхность, позволяя им собираться и образовывать более крупные глобулы, увеличивая плавучесть. Это, в свою очередь, помогает большему количеству нефти отделиться и подняться на поверхность воды.

Сложенные друг на друга пластины увеличивают площадь поверхности, которую должны пройти сточные воды, а тот факт, что они расположены под наклоном, помогает нагнетать масло на поверхность, где оно может сливаться и образовывать более крупные частицы. Водомасляный сепаратор обеспечивает удаление подавляющего большинства нефти и шлама до того, как сточные воды пойдут на процессы более тонкой фильтрации.

Масла, обнаруженные в сточных водах, могут включать не только растительные масла и жир, которые дома, рестораны и другие коммерче-

ские предприятия смывают в канализацию, но также нефть и другие опасные продукты. Они могут нарушить экологические системы и оказаться вредными для растений, животных и даже людей.

Если вы видели в новостях репортажи о разливах нефти в прошлом, то понимаете, какой вред может причинить нефть, хотя это были эпические катастрофы большого масштаба. Однако не делайте ошибку, думая, что масло в сточных водах менее вредно.

Помимо преимуществ водомасляные сепараторы имеют ряд недостатков. Например, Одним из известных недостатков этих сепараторов является то, что они имеют низкую мощность всасывания. Например, когда конец насоса сухой, а рабочее колесо вращается с высокой скоростью, его мощность просто недостаточна, чтобы поднять маслянистую водную смесь в сепаратор. По этой причине перед использованием эти сепараторы всегда должны быть загрунтованы.

Таким образом, водомасляные сепараторы довольно эффективны, но их производительность можно увеличить за счет применения тепловых процессов. Поэтому в рамках исследования предлагается использовать блоки разделения нефтешламов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сурикова А.Н. Метод расчета теплопередачи в основном выпарном аппарате блока разделения нефтешлама // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Кемерово: КузГТУ, 2018.
2. Сурикова А.Н. Основы создания микроклимата в помещениях жилых, общественных и коммунальных зданий: учебное пособие / Е.В. Сыцяно, А.Н. Сурикова. Вологда: ВоГУ, 2018. 71 с.
3. Сурикова А.Н. Процессы тепломассообмена при выпаривании влаги из нефтешламов // Теплоэнергетика: материалы Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Иваново: ИГЭУ, 2018. С. 54.
4. Соловьева Е.В. Деформационные параметры вторичного поливинилхлорида / Е.В. Соловьева, А.Н. Сурикова // Вестник Вологодского гос. ун-та. Серия: Технические науки. 2021. № 1(11). С. 69-70.
5. Surikova A. Increasing the productivity of a plant for moisture evaporation from oil sludge by application of efficient method for technological parameters calculation/ A. Surikova, E. Sytsyanko, E. Solov'Eva, L.Mukhametova // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 178.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВЫПУСКНОГО КОЛЛЕКТОРА СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

А.П. Васильев, А.А. Ивнев

Научный руководитель - **А.А. Ивнев**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Приведены результаты расчетного исследования температурного поля выпускного коллектора многоцелевого двигателя при конвертации его в судовой. Сделан вывод о необходимости применения жидкостного охлаждения выпускного газового коллектора.

***Ключевые слова:** судовой двигатель, модернизация систем, выпускной газовый коллектор, твердотельное моделирование, тепловая изоляция, расчетное температурное поле.*

MODELING AND CALCULATION OF AN EXHAUST GASES COLLECTOR OF A MARINE ENGINE

A.P. Vasilev, A.A. Ivnev

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

Yaroslavl State Technical University

The results presented a computational study of the temperature field of the exhaust gases collector of a multi-purpose engine when converting it into a marine engine. It concluded that it is necessary to use liquid cooling of the exhaust gases collector.

***Keywords:** marine engine, systems upgrade, exhaust gases collector, solid modeling, thermal isolation, calculated temperature field*

Решение задач транспортной безопасности, импортозамещения и обеспечения отечественными двигателями судов малого и среднего водоизмещения, а также и исследования по расширению спектра высокооборотных дизелей, применяемых в качестве судовых, определены рядом целевых федеральных программ и являются актуальными [1-3].

Стратегия развития судостроительной промышленности [2] предполагает оснащение судов современными отечественными дизельными двигателями, в том числе и конвертированными из смежных сегментов применения, подготовленные и дооснащенные в соответствии с правилами Морского или Речного Регистров [1].

Техническая возможность использования конвертированных двигателей в качестве главных и вспомогательных силовых судовых энергетических установок показана рядом исследований, в том числе [3,4]. В частности, при модернизации системы выпуска отработавших газов требуется обеспечить температурный уровень поверхности коллектора не более 60 °С [1].

В данной работе приведены результаты расчетного исследования конструкций выпускного коллектора с различными способами ограничения уровня температур поверхности коллектора, предложенными в работе [4].

В качестве объекта исследования принят многоцелевой двигатель ПД-500. Целью исследования является разработка расчетной модели выпускного коллектора с заданными краевыми условиями однозначности с возможностью использования теплоизолирующего материала без применения жидкостного охлаждения и расчет его температурного поля.

При разработке твердотельной модели использовался программный комплекс Solid Works, а для расчета использована среда Ansys Workbench.

На рис. 1 представлена твердотельная модель выпускного коллектора с установленным на него турбокомпрессором; для упрощения расчета в модели были исключены фланцы крепления коллектора к ГБЦ и все крепежные изделия.

В качестве материала стенки коллектора принят серый чугун с коэффициентом теплопроводности 45 Вт/(мК). В качестве условий однозначности использованы граничные условия 3-го рода в виде заданных значений средних температур окружающей среды (газа внутри и воздуха снаружи) и средних коэффициентов теплоотдачи на этих поверхностях.

Первоначальное решение задачи по определению температурного поля выполнено для выпускного коллектора без тепловой изоляции.

Конечно-элементная модель (КЭМ) без изоляции, представленная на рис. 2, имеет следующие параметры: размер элемента 5 мм; количество узлов в модели: 144769; количество элементов в модели: 58845.

Заданные для этой КЭМ граничные условия представлены в таблице 1. Расчетная температура воздуха принята из нормативных документов Морского Регистра.

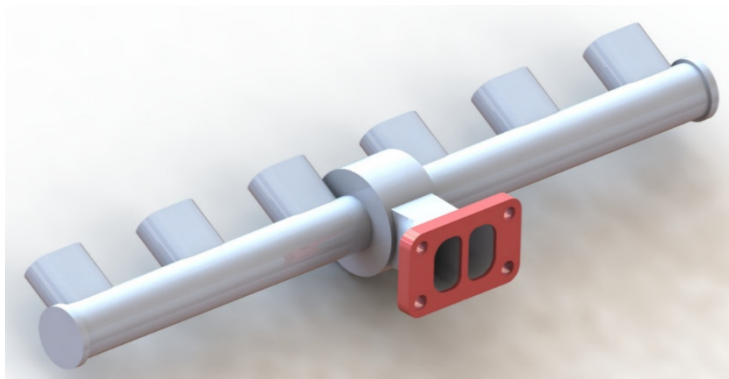


Рис. 1. Твёрдотельная модель выпускного коллектора без изоляции

Таблица 1. Граничные условия

№	Участок	Коэффициент теплоотдачи α , Вт/(м ² ·К)	Температура среды $t_{ср}$, °С
1	Внутренняя поверхность со стороны газа	500	800
2	Наружная поверхность со стороны воздуха	15	45

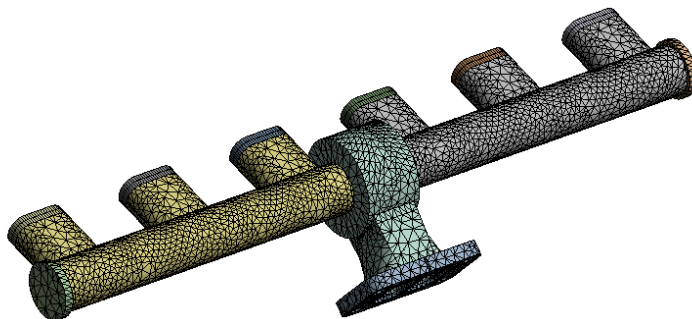


Рис. 2. Конечно-элементная модель выпускного коллектора без изоляции

На рис. 3 представлена картина распределения температур в коллекторе.

Результаты расчета свидетельствует, что температура внешней поверхности выпускного коллектора незначительно отличается от температуры выпускных газов, протекающих внутри коллектора. Очевидно, что применение данной конструкции для судового варианта двигателя невоз-

можно, так как коллектор не соответствует требованиям пожаробезопасности, предъявляемыми нормативными документами [1].

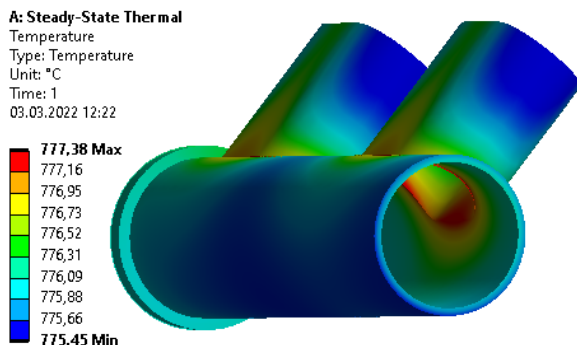


Рис. 3. Расчетное поле температур выпускного коллектора без изоляции

На втором этапе расчета была разработана КЭМ конструкции коллектора с дополнительным слоем тепловой изоляции толщиной 17 мм. на внешней поверхности.

КЭМ выпускного коллектора с тепловой изоляцией представлена на рис. 4.

В качестве теплоизолирующих материалов использованы термостойкие материалы на основе минеральной ваты, глинозема или вермикулита с кремнеземной тканью (например, Cerablanket AC2 фирмы Termal Ceramics; МКРР-130 или МКРВ-200 ОАО «Сухоложский огнеупорный завод компании Termal Ceramics, Россия). Свойства заданных материалов представлены в таблице 2.

Заданные для этой КЭМ граничные условия (см. таблицу 1) не отличаются от базовой модели.

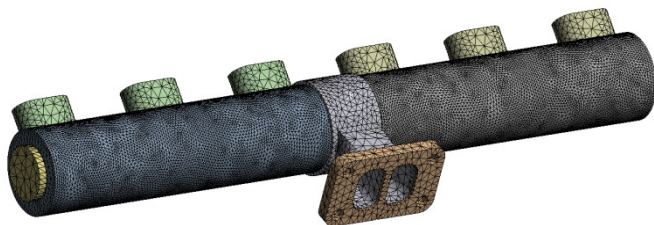


Рис. 4. Конечно-элементная модель выпускного коллектора с дополнительным слоем тепловой изоляции

Таблица 2. Теплофизические свойства теплоизоляционных термостойких материалов [5, 6]

Название материала	Свойства	
	Максимальная температура, °C	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ² ·К)
Cerablanket AC2	1177	0,285
Kaowool 1260 Paper	1260	0,2
МКРР-130; МКРВ-200	1150	0,147

На рис. 5 представлена картина распределения температур в коллекторе с использованием в качестве теплоизоляции материала: МКРВ-200.

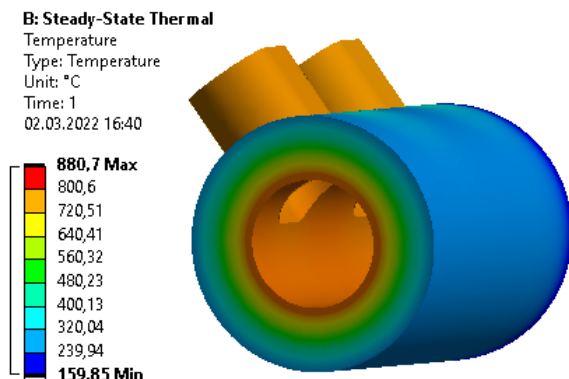


Рис. 5. Расчетное температурное поле выпускного коллектора с тепловой изоляции из материала МКРВ-200.

Исходя из картины распределения температур, внешняя поверхность теплоизолированного коллектора находится при температуре 269 °C. Данный выпускной коллектор не может быть использован для судового варианта двигателя; необходимо дальнейшее снижение температуры внешней поверхности.

Таким образом, выполнение расчетных исследований температурного поля на поверхности выпускного коллектора с различными свойствами тепловой изоляции показало, что выполнение требований по внешней температуре поверхности коллектора возможно только при использовании слоя тепловой изоляции значительной толщины. Для сохранения габаритных размеров коллектора целесообразно изготовление выпускного коллектора с жидкостным охлаждением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российский Морской Регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов часть VII «Механические установки». С.-Петербург, 2020. С. 24-28.
2. Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и дальнейшую перспективу (утв. приказом Министерства промышленности и энергетики РФ от 6 сентября 2007 г. № 354). URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/92194/#92194> (дата обращения 18.03.2021).
3. *Безюков О.К.* Состояние и перспективы судового двигателестроения в России / О.К. Безюков, В.А. Жуков // Вестник АГТУ. Сер. Морская техника и технология. 2017. № 2. С. 40-53.
4. *Васильев А.П.* Особенности конвертации автотракторных дизелей в судовые / А.П. Васильев, А.А. Ивнев // Семьдесят четвертая всерос.я науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с междунар. участием. 21 апреля 2021 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2021. С. 464-468. Тест: электронный.
5. Высокотемпературное теплоизоляционное волокно. URL: <http://slsoz.ru/produktsiya/vysokotemperaturnoe-teploizolyatsionnoe-voлокно/> (дата обращения 12.02.2022).
6. Промстройкомплект. Каталог теплоизоляционной продукции. URL: https://psknn.ru/products/teploizolyacionnie_materiali/vata-vojluk-voлокно/mulitokremnezemistyij.html (дата обращения 26.02.2022).

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ КЛАПАНОВ АККУМУЛЯТОРНОЙ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЯ

В.С. Коротков, А.А. Павлов

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

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются конструкции предохранительных клапанов аккумуляторной системы топливоподачи для авиационного дизеля.

Ключевые слова: аккумуляторная топливная система, двигатель внутреннего сгорания, предохранительный клапан

ANALYSIS OF SAFETY VALVE DESIGNS OF THE DIESEL FUEL SYSTEM

V.S. Korotkov, A.A. Pavlov

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

Yaroslavl State Technical University

The designs of safety valves of the common rail system for an aviation diesel engine are considered.

Keywords: common rail system, internal combustion engine, safety valve

Аккумуляторная топливная система авиационного дизеля предполагает наличие многофункционального аварийного клапана. Многофункциональность предохранительного клапана определяется не только возможностью сброса давления, но и поддержания, таких его значений при которых дизель смог бы продолжать работать на частичных режимах. Разработка предохранительного клапана должна опираться на известные их конструкции, технологические возможности предприятия. Анализ конструкций предохранительных клапанов аккумуляторных топливных систем дизеля, а также формирование требований к его разработке и определяет цель настоящей работы.

При рассмотрении предохранительных клапанов особо выделим

конструкцию, применяемую фирмой Бош. Конструктивное устройство предохранительного клапана представлено на рис. 1 [1], запорно-регулирующее устройство (поршень) предохранительного клапана приведен на рис. 2 [1].

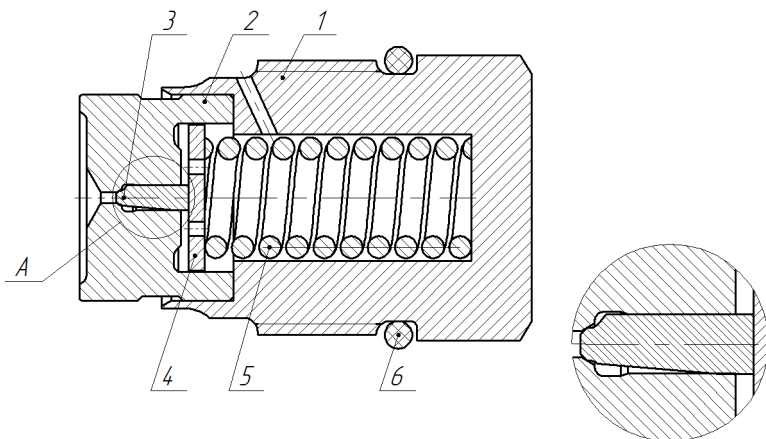


Рис. 1. Предохранительный клапан фирмы Бош [1]:
 1 - корпус, 2 - вставка, 3 - поршень, 4 - шайба, 5 - пружина,
 6 - уплотнительное кольцо



Рис. 2. Поршень предохранительного клапана фирмы Бош [1]

Предохранительный клапан Бош имеет 6 основных деталей, конструктивно прост, но имеет следующие недостатки:

- однократность действия (после срабатывания требуется замена);
- жесткие технологические требования, трудновыполнимые в условиях предприятия.

На втором этапе работы по анализу предохранительных клапанов приведем конструкцию фирмы Катерпиллар (рис. 3) [2].

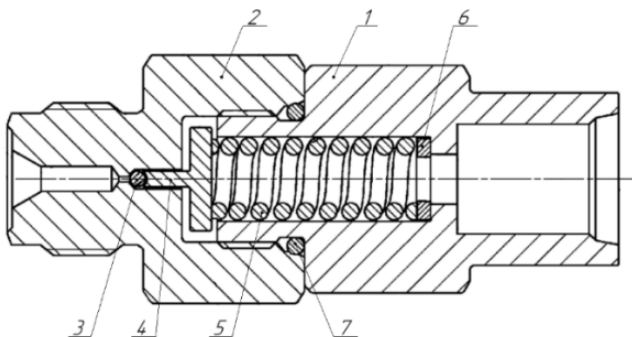


Рис. 3. Предохранительный клапан фирмы Катерпиллар [2]:
 1 - переходник, 2 - корпус, 3 - шарик, 4 - направляющий штифт,
 5 - пружина, 6 - шайба, 7 - уплотнительное кольцо

Предохранительный клапан, приведенный на рис. 3, имеет 7 деталей. В качестве запорного элемента выступает шарик. Регулирующий элемент клапана выполнен в форме направляющего штифта. Основным недостатком предохранительного клапана является однократность его действия. При срабатывании клапана требуется его замена.

На рис. 4 [3] приведен предохранительный клапан фирмы Камминз. Клапан имеет 7 деталей. В качестве запорно-регулирующего органа используется сборочная единица, состоящая из двух плунжеров (позиция 2 и 3) с коническим запорным элементом.

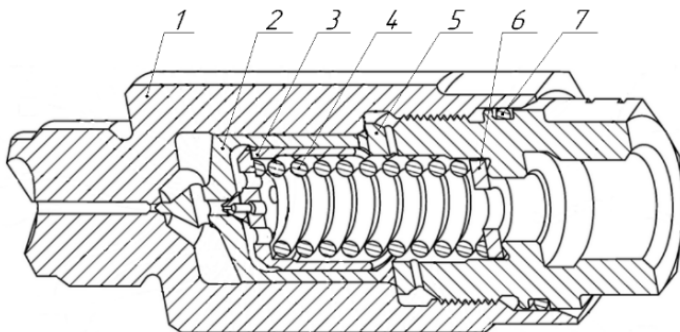


Рис. 4. Предохранительный клапан фирмы Камминз [3]:
 1 - корпус, 2 - первый плунжер, 3 - второй плунжер, 4 - пружина,
 5 - винт, 6 - регулировочная шайба, 7 - уплотнительное кольцо

Главным недостатком предохранительного клапана фирмы Кам-

минз является склонность к заклиниванию, что в свою очередь может привести к аварии и разрушению элементов топливной аппаратуры.

Анализ представленных конструкций предохранительных клапанов позволил сформировать требования к разрабатываемой его конструкции, а именно:

- многократность действия;
- отсутствие склонности к зависанию;
- технологическая простота.

Вышеуказанные требования к предохранительному клапану будут выполнены при помощи, разработанной его двухплунжерной конструкции с шариком в качестве запорного элемента. Причем расположение плунжеров сточки зрения поверхностей соприкосновения исключает склонность к их зависанию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Patent No 10312175 A1 DE / Thomas Buchberger, Franz Weixelberger and Wolfgang Hoeller. URL: <https://patents.google.com/patent/DE10312175A1/en?q=DE10312175A1>
2. Patent No 9,194,352 B2 US / Selvakumar Duraisamy and Kenneth C. Adams, 2012. URL: <https://patents.google.com/patent/US9194352B2/en?q=US+9%2c194%2c352+B2>
3. Patent No 20140014074 A1 US / Deepak Sahini, W. Joseph Satterfield, Robert P. Erickson, Jeffrey J. Sullivan, Donald J. Benson. 2012. URL: [/https://patents.google.com/patent/US20140014074A1/en?q=US20140014074A1](https://patents.google.com/patent/US20140014074A1/en?q=US20140014074A1)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ
КЕРОСИНОВОЙ ФОРСУНКИ
АВИАЦИОННОГО ПОРШНЕВОГО ДИЗЕЛЯ**

С.М. Трясков, А.А. Павлов

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

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается математическая модель топливной керосиновой форсунки аккумуляторной системы топливоподачи для авиационного дизеля, созданная в среде программного продукта Matlab Simulink и приводятся характеристики подачи при заданных параметрах.

***Ключевые слова:** аккумуляторная топливная система, математическое моделирование*

**MODELING OF THE ELECTROHYDRAULIC KEROSENE
NOZZLE OF THE AVIATION PISTON DIESEL ENGINE**

S.M. Tryaskov, A.A. Pavlov

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

Yaroslavl State Technical University

The mathematical model of the fuel kerosene nozzle of the Common Rail system for aviation diesel created in the environment of the Matlab Simulink software product is considered and given the characteristics of the supply at the specified parameters.

***Keywords:** battery fuel system, mathematical modeling*

В настоящее время для беспилотной авиации создается высокофорсированный многотопливный дизель с возможностью работы как на различных сортах дизельного топлива, так и на керосине и ракетном топливе.

Для выполнения жестких технических требований по удельной мощности и топливной экономичности, разрабатываемый дизель оснащается аккумуляторной топливной системой.

Современная промышленность уже освоила и широко применяет аккумуляторные топливные системы на дизелях, работающих на дизельном топливе. Однако, создание аккумуляторных топливных систем, ра-

ботающих как на дизельном топливе, так и на керосине, осуществляется впервые. В частности, использование электроуправляемой форсунки с клапаном, разгруженным от давления топлива на дизеле при впрыске керосина, не обеспечивает требуемых мощностных характеристик. Для совершенствования форсунки путем изменения ее конструктивных параметров требуются дополнительные исследования, которые предлагается выполнить при помощи математической модели. Разработка математической модели электроуправляемой форсунки и исследование параметров ее работ при впрыске керосина и определяет цель настоящей работы.

В качестве среды математического моделирования выбран Matlab Simulink.

Модель форсунки в среде Matlab Simulink представляет собой схему из блоков, являющихся математическими операторами, которыми представлены основные дифференциальные уравнения (1), связывающие баланс расходов в управляющей камере и подыгольном пространстве через распылитель с балансом усилий на игле форсунки. Кроме этого учитывается сжимаемость топлива ввиду высоких давлений в гидравлической системе форсунки, его плотность и скорость звука в топливе.

При моделировании принимаются следующие допущения:

- рассматриваемые гидродинамические процессы – изотермические;
- рассматривается только линия высокого давления, давление в аккумуляторе, линии низкого давления и цилиндре двигателя считаются постоянными;
- гидродинамические процессы в трубопроводах одномерны;
- топливо однофазно.

Справедливость принимаемых допущений оправдывается удовлетворительными результатами сходимости результатов математического моделирования современных ТПС (как аккумуляторных, так и насос-форсунок) с экспериментами в [1, 2].

Граничные условия для моделирования процессов в форсунке определяется системой уравнений (1):

$$\begin{aligned} \frac{dP_1}{dt} &= \frac{E}{V} (Q_{вп} - Q_{вып} + A_{p1} * x_{и}(t) - Q_{утеч}); \\ m_{к} \frac{d^2x(t)}{dt^2} &= -P_1 * A_{p1} + (A_{p2} + A_{p3}) * P_{акк} - C_{пр} * x_{и}(t) \\ &\quad - \frac{b_{тр} * dx_{и}(t)}{dt} - F_{пр0}; \\ V &= V_0 - A_{p1} * x_{и}(t); \end{aligned}$$

$$Q_{\text{вп}} = \mu f_1 \sqrt{\frac{2}{\rho_1} |P_{\text{акк}} - P_1| * \text{sign}(P_{\text{акк}} - P_1)}$$

$$Q_{\text{вып}} = \mu f_2 \sqrt{\frac{2}{\rho_2} |P_1 - P_0| * \text{sign}(P_1 - P_0);}$$

$$Q_{\text{ф}} = \mu f_3 \sqrt{\frac{2}{\rho_3} |P_{\text{акк}} - P_{\text{ак}}| * \text{sign}(P_{\text{акк}} - P_{\text{ак}});}$$

Здесь f_1, f_2, f_3 – площади эффективных проходных сечений впускного, выпускного жиклеров камеры управления и выходных сечений распылителя соответственно, м^2 ; μ – коэффициент истечения через жиклер; E – модуль упругости топлива (керосин ТС-1), Н/м^2 ; V – объем управляющей камеры, м^3 ; $x_{\text{и}}(t)$ – координата иглы форсунки, м ; $Q_{\text{вп}} Q_{\text{вып}} Q_{\text{ф}}$ – расход через жиклеры впускной и выпускной, а также через сопла распылителя соответственно, м^3 ; P_1 – давление в управляющей камере, Па ; $m_{\text{к}}$ – масса поршня-мультипликатора и иглы форсунки, кг ; $A_{\text{р2}}, A_{\text{р3}}$ – площади дифференциальной площадки и запорного конуса иглы форсунки, м^2 ; $P_{\text{акк}}$ – давление в аккумуляторе (во впускном штуцере), Па ; P_0 – давление в сливе форсунки, Па ; $P_{\text{ак}}$ – давление в цилиндре (противодавление), Па ; $C_{\text{пр}}$ – жесткость пружины иглы, Н/м ; $b_{\text{тр}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления прецизионного сопряжения игла-корпус; $F_{\text{пр0}}$ – сила предварительной затяжки пружины иглы, Н .

Расчет модели проводится с помощью метода Эйлера с целым шагом расчета 0,000005 с. Время расчета от 0 до 0,003 с. Длительность управляющего импульса 0,0008 с.

В результате рассчитаны значения давления в управляющей камере, кинематические параметры движения иглы форсунки, значения дифференциального и интегрального расхода топлива через сопла распылителя и дифференциальный расход топлива через выпускной жиклер управляющей камеры.

На рис. 1-7 представлены модель форсунки и результаты расчета.

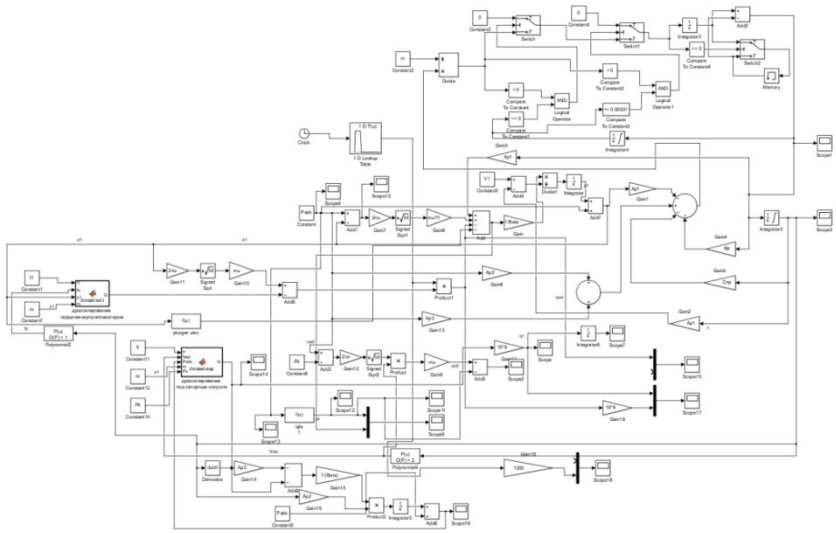


Рис. 1. Математическая модель форсунки

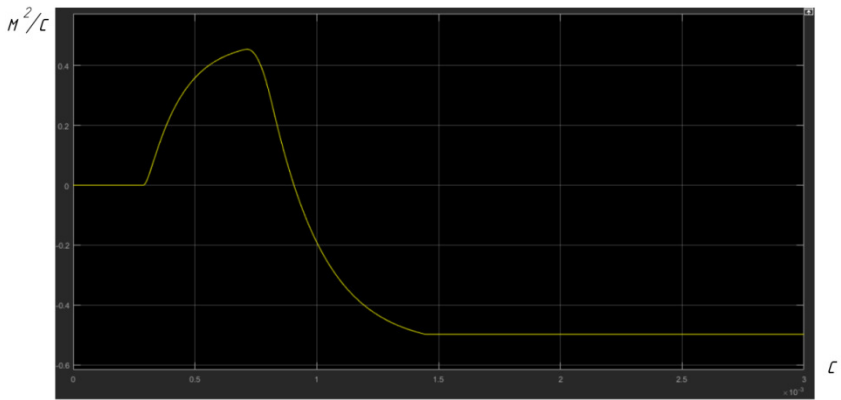


Рис. 2. Ускорение иглы

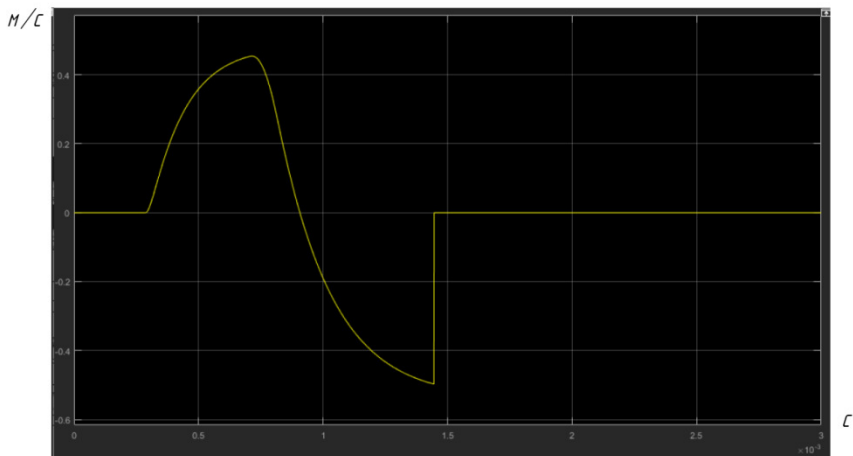


Рис. 3. Скорость перемещения иглы

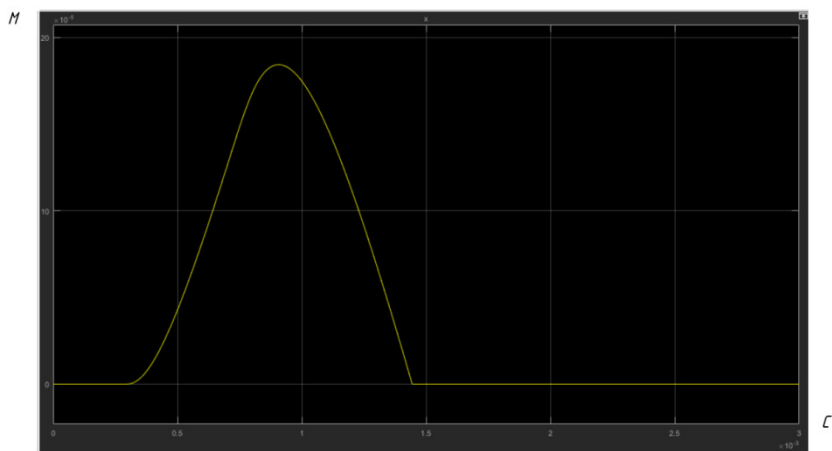


Рис. 4. Перемещение иглы форсунки

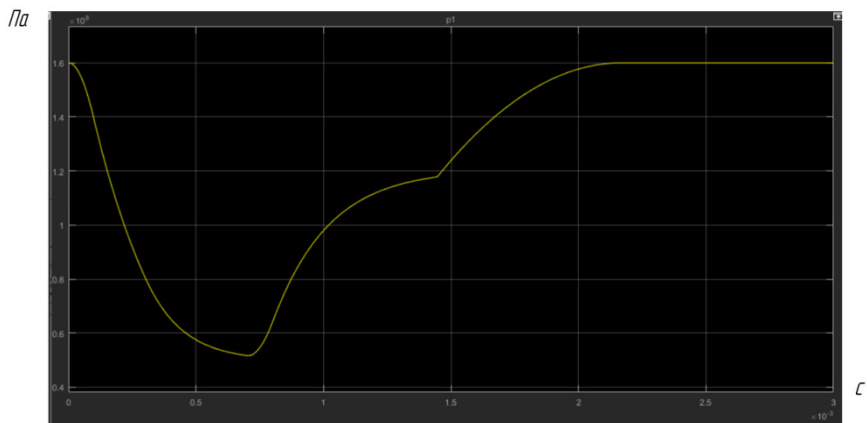


Рис. 5. Давление в управляющей камере

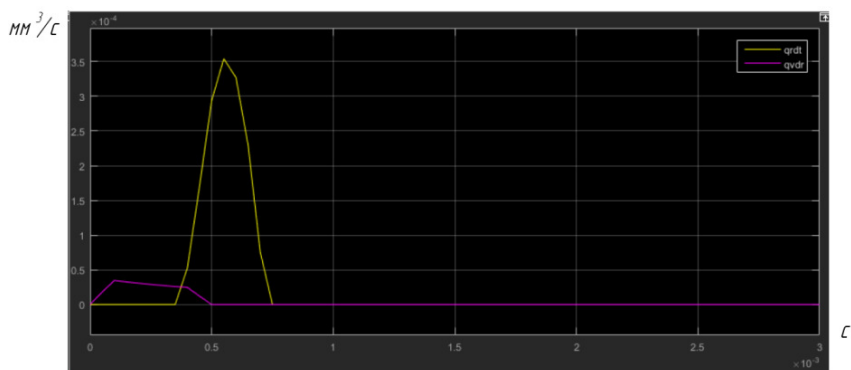


Рис. 6. Сравнение дифференциальных расходов на управление (меньшая кривая) и на топливоподачу через распылитель (большая кривая)

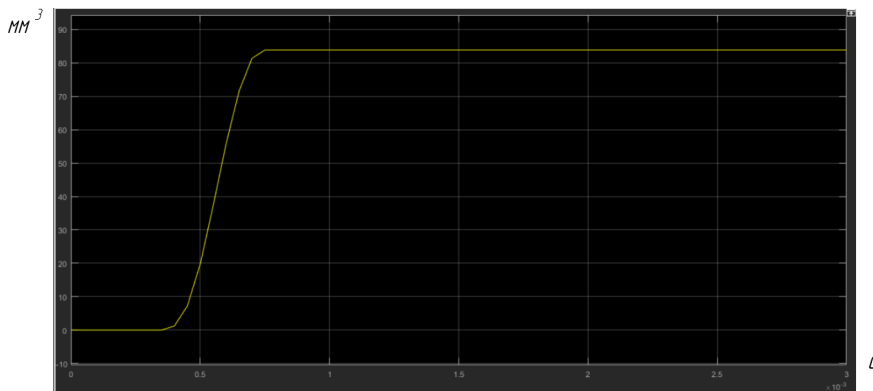


Рис. 7. Цикловая подача форсунки (интегральный показатель)

Интегральная цикловая подача, полученная в результате расчета равна $88,2 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, что отличается от практических испытаний по измерению цикловой подачи на $5,8\%$, что приводит к необходимости дальнейшей актуализации модели.

Выводы: среда Matlab Simulink позволяет моделировать сложные гидравлические системы с высокой точностью. Интегральная цикловая подача, полученная в результате расчета равна $88,2 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, что отличается от практических испытаний по измерению цикловой на $5,8\%$, что приводит к необходимости дальнейшей актуализации модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Грехов Л.В.* Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. М.: Легион-Автодата, 2004. 344 с.
2. Особенности математического моделирования гидромеханических процессов ЭГФ / А.Н. Врублевский, А.Л. Григорьев, А.В. Грицок [и др.] // Двигатели внутреннего сгорания: Всеукр. научн.-техн. журнал. 2007. №1. С. 44–52.

ТЯГОВЫЙ РАСЧЁТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ

М.А. Кокарев, Ю.Е. Хрящёв

Научный руководитель – **Ю.Е. Хрящёв**, д-р техн. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

В статье проведен расчёт тяговых и мощностных характеристик для электропривода в составе гибридной силовой установки.

***Ключевые слова:** гибридная силовая установка, скорость, тяговый расчёт, вентильный двигатель.*

TRACTION CALCULATION OF THE ELECTRIC DRIVE OF GYBRID CAR

M.A. Kokarev, Yu.E. Khryashchev

Scientific Supervisor - **Y.E. Khryashchev**, Doctor of Technical Sciences, Professor

Yaroslavl State Technical University

The article calculates the traction and power characteristics for an electric drive as part of a hybrid power plant.

***Keywords:** Hybrid power plant, speed, traction calculation, valve engine.*

Применение гибридных силовых установок с электроприводом в настоящее время являются актуальной тенденцией, поскольку позволяют улучшить экономичность и экологические параметры автомобиля. Опыт использования показывает, что такие установки позволяют оптимизировать режим работы ДВС, и рекуперировать энергию транспортного средства при торможении, что оказываются чрезвычайно эффективными в городском цикле движения. Развитие новых технологий позволило мотор-колесам стать конкурентоспособным вариантом привода автомобиля, обладающего высокими мощностными и тяговыми показателями. Данный вид привода позволяет исключить дополнительные передаточные механизмы и оптимизировать распределение массы и пространства автомобиля.

В системе привода автомобиля основным показателем является тяговая характеристика автомобиля, которая отражает его эксплуатацион-

ные свойства. Расчёт данной характеристики позволяет обеспечить оптимальную работу регулировки скорости и момента тягового электродвигателя в системе автоматического регулирования. Тяговая и механическая характеристики служат неотъемлемой частью проектирования автомобиля и являются основополагающими аспектами при определении массогабаритных и эксплуатационных показателей электропривода.

Первостепенно для расчёта основных параметров автомобиля с электроприводом используется силовой баланс [1, 2]:

$$P_T = P_{\Sigma} = P_K + P_{\Pi} + P_B + P_{\text{и}}, \quad (1)$$

где P_T - сила тяги на ведущих колесах; P_K - сила сопротивления качению; P_{Π} - сила сопротивления подъему; P_B - сила сопротивления воздуха; $P_{\text{и}}$ - сила сопротивления разгону (инерции) автомобиля.

При умножении равенства силового баланса и адаптации расчёта к мощности электропривода, для мощностного баланса будет справедлива формула:

$$N_3 = \frac{G \cdot (f \cdot \cos a_d \cdot \sin a_d) + \frac{C_x \cdot \rho}{2} \cdot F \cdot v^2 + \frac{G_a}{g} \cdot \delta_{\text{вр}} \cdot a \cdot v}{\eta}, \quad (2)$$

где $G_a = m_a \cdot g$ – полный вес автомобиля; a_d – угол уклона дороги, f – коэффициент сопротивления качению; C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления; ρ – плотность воздуха в нормальных условиях; F – площадь миделя; $\delta_{\text{вр}}$ – коэффициент учета вращающихся масс, принимаем $\delta_{\text{вр}}=1,05$; a – ускорение автомобиля.

В качестве исходных данных были выбраны характеристики автомобиля Volvov 90

Таблица 1. Результаты расчёта

v , км/ч	Тяговая мощность, Н при разных углах подъема дороги			Силы сопротивления, Н		
	0%	5%	10%	N_d	N_B	N_{Σ}
20	2199	6434	9355	355	116	471
40	5318	13789	19629	371	926	1297
60	10277	22983	31743	398	3124	3522
80	17997	34936	46616	436	7404	7840
100	29397	50570	65167	485	14461	14946
120	45397	70803	88318	544	24989	25534
140	66918	96555	116986	614	39682	40297
160	94880	128747	152093	695	59234	59929

Далее производится расчёт зависимостей суммы сопротивления дороги и воздуха от скорости, и силу тяги автомобиля с выбранными мотор-колесами, также зависящую от скорости.

$$P_T \leq \frac{M_e(v) \cdot \eta_{тр} \cdot r_{тп} \cdot r_{эк}}{r_k} \quad (3)$$

где $M_e(v)$ – зависимый от скорости вращающий момент электродвигателя; $r_{тп}$ и $r_{эк} = 1$, поскольку передача энергии происходит напрямую от привода к колесам.

При движении автомобиль приобретает силу сопротивления воздуха и сопротивления качению автомобиля, которую определяют по формуле

$$P_c = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot F v_v^2 + G *). \quad (4)$$

Зависимость удовлетворяет условиям $P_T > P_c$.

Динамический фактор D - это отношение разности силы тяги и силы сопротивления воздуха к весу автомобиля:

$$D = \frac{P_T - P_B}{G_a}. \quad (5)$$

Необходимо учесть $D_{цц}$ динамический фактор автомобиля по сцеплению ($D_{цц}=0.8$) и Ψ – коэффициент суммарного сопротивления дороги.

$$D_{цц} \geq D \geq \Psi. \quad (6)$$

Полученные значения находятся в диапазоне 0,376-0,177, что удовлетворяет условия (6)

Ускорение во время разгона рассчитывают при движении электромобиля по горизонтальной дороге хорошего качества с твердым покрытием при максимальном использовании мощности электродвигателя и при отсутствии пробуксовывания ведущих колес [4]. Ускорение находятся

$$J = \frac{(D-f)*g}{\delta_{вп}}. \quad (7)$$

Путь и время разгона электромобиля определяется с помощью графоаналитического способа. Интегрирование заменяется суммой величин.

$$\Delta t = \int_{v_{k-1}}^{v_k} \frac{1}{j} \cdot dv \approx \left(\frac{1}{j_{cp}} \right)_k \cdot (v_k - v_{k-1}). \quad (8)$$

Таблица 2. Результаты расчёта

v , км/ч	$J_{\text{ном2}}$ М/с ²	$\Delta t_{\text{ном}}$ с	$t_{\text{ном}}$ с	$\Delta S_{\text{ном}}$ м	$S_{\text{ном}}$ м
0	0	0	0	0	0
20	3,380	0.84	0.84	2.357	2.357
40	3,349	1.68	2.51	16.566	14.209
60	3,299	1.70	4.21	40.535	23.969
80	3,171	1.75	5.96	75.026	34.490
100	2,910	1.86	7.82	122.272	47.246
120	2,345	2.17	9.99	189.753	67.482
130	1,703	2.86	12.85	294.733	104.979
140	1,389	3.51	16.37	443.027	148.294

На графике отражены три основных участка (рис. 1), участок А-В соответствует постоянству максимального тягового усилия. Участок D-F – соответствует максимальной скорости. Участок BD определяет номинальный диапазон. Точка С предопределяет энергетическую эффективность системы. В этой точке система привода должна реализовать максимальный КПД [1].

$$\frac{P_{\text{max}} \cdot \eta_e}{v_{\text{ном}}} = \frac{G \cdot \left(f \cdot \cos \alpha_d \cdot \sin \alpha_d + \frac{1}{2} \rho \cdot C_x \cdot F \cdot v_{\text{ном}}^2 \right) v_{\text{ном}}^2}{\eta} \quad (9)$$

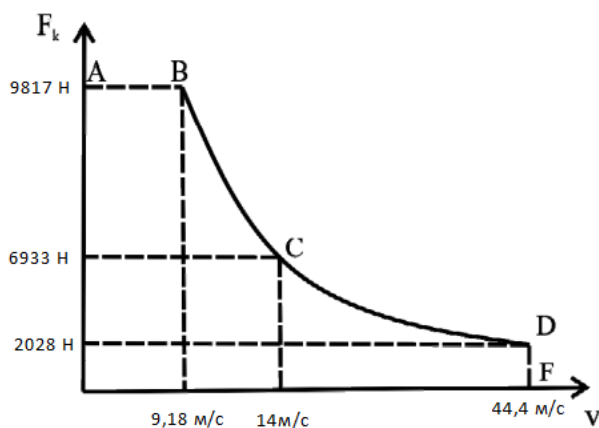


Рис. 1. Предельная тяговая характеристика транспортного средства

Требуемая кратность максимальной силы тяги и скорости автомобиля:

$$K_F = \frac{K_{kmax}}{K_{кном}}, \quad (10)$$

$$K_V = \frac{K_{vmax}}{K_{vном}}. \quad (11)$$

Диапазоны регулирования скорости и момента можно определить:

$$K_\omega = K_V, \quad (12)$$

$$K_M = K_F. \quad (13)$$

Полученные результаты позволяют выбрать оптимальные характеристики привода проектируемого автомобиля. Предельные тяговые характеристики, приведенные к уравнениям (12), (13) представляют диапазон регулирования, используемый при проектировании систем автоматического регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чернышев А.Д.* Расчет механической характеристики тягового электродвигателя электрической трансмиссии транспортного средства // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2018. Т. 18, № 1. С. 5-16.
2. Математическое моделирование основных процессов электромобилей и автомобилей с комбинированной силовой установкой / В.И. Строганов, В.Н. Козловский, А.Г. Сорокин, Л.Х. Мифтахова // Вестник Казанского технол. ун-та. 2014. Т. 17, № 7. С. 129-132.
3. Аналитическое моделирование тяговой характеристики электромобилей и автомобилей с комбинированной энергетической установкой / В.И. Строганов, В.Н. Козловский, А.Г. Сорокин, Л.Н. Мифтахова // Вестник Казанского технол. ун-та. 2014. № 7. С. 107–112.
4. *Черепанов Л.А.* Расчет тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016.