

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ А.Н. КОСЫГИНА
(ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)**



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization

Организация
Объединенных Наций по
вопросам образования,
науки и культуры

Under the patronage of
UNESCO

Под патронатом
ЮНЕСКО

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОСЫГИНСКИЙ ФОРУМ

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ
«ВТОРЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОСЫГИНСКИЕ ЧТЕНИЯ:
«ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ
БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ»,
ПРИУРОЧЕННЫЕ К 100-ЛЕТИЮ РГУ ИМЕНИ А.Н. КОСЫГИНА»**

**Симпозиум проводится под эгидой всемирной федерации инженерных
организаций (WFEO)
при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных
исследований – проект № 19-08-20053/19**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
(ТОМ 1)**

**МОСКВА
29 ОКТЯБРЯ – 1 НОЯБРЯ 2019 ГОДА**

УДК 66.02(06)
С 56

ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ [Текст]: сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени А. Н. Косыгина»: Т. 1 / М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина», 2019. – 312 с.

ISBN 978-5-87055-814-1

В сборник включены статьи российских и зарубежных ученых, в которых приводятся результаты научных исследований энергоресурсоэффективных процессов и технологических систем, их проектирования и конструктивного оформления, рассматриваются современные пути энергоресурсосбережения в технологических процессах и оборудовании в химической, текстильной, лёгкой, пищевой и других отраслях промышленности и агропромышленного комплекса и методы повышения энергоресурсоэффективности процессов, оборудования и производств, вопросы производственной и экологической безопасности.

ISBN 978-5-87055-814-1

УДК 66.02(06)

© ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»,
2019
© Авторы статей, 2019

Международный научно-технический симпозиум (МНТС)

«Вторые международные Косыгинские чтения:
«Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование», приуроченные к 100-летию РГУ имени А.Н. Косыгина»

**проводится в РГУ имени А.Н. Косыгина в рамках
Международного Косыгинского Форума
29 октября – 1 ноября 2019 года**

Организаторами Симпозиума являются:

- Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
- Российская академия наук
- Российский Союз научных и инженерных общественных объединений
- Российское химическое общество имени Д.И. Менделеева
- Российская инженерная академия
- Евразийский информационно-аналитический консорциум
- Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)
- Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН РФ
- Комитет РосСНИО по проблемам энергоресурсоэффективных химических технологий
- Комитет РосСНИО по проблемам сушки и термовлажностной обработки материалов
- Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси
- Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
- Московский государственный университет пищевых производств

Рабочие языки Симпозиума: русский и английский.

Материалы публикуются в авторской редакции.

**ПРОГРАММНЫЙ (НАУЧНЫЙ) КОМИТЕТ
МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СИМПОЗИУМА
«ВТОРЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОСЫГИНСКИЕ ЧТЕНИЯ:
«ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ
БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ»,
ПРИУРОЧЕННЫЕ К 100-ЛЕТИЮ РГУ им. А. Н. КОСЫГИНА»**

Председатель комитета:

Президент Российского Союза научных и инженерных общественных объединений (РосСНИО), Президент Академии инженерных наук имени А. М. Прохорова, академик РАН **Гуляев Юрий Васильевич**

Сопредседатели комитета:

Ректор Российского государственного университета имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), профессор

Белгородский Валерий Савельевич;

Президент Российского химического общества имени Д.И. Менделеева академик РАН **Цивадзе Аслан Юсупович;**

Президент Российской инженерной академии, член-корреспондент РАН **Гусев Борис Владимирович;**

Заместитель Президента РАН, член Президиума РАН, член-корреспондент РАН, **Иванов Владимир Викторович;**

Вице-президент РХО им. Д.И. Менделеева, профессор

Кулов Николай Николаевич;

Член правления РХО имени Д.И. Менделеева, директор Международного института логистики ресурсосбережения и технологической инноватики академик РАН **Мешалкин Валерий Павлович.**

Учёный секретарь комитета:

профессор РГУ имени А.Н. Косыгина **Кошелева Мария Константиновна** (тел. моб. 8 (926) 355 04 48, e-mail: oхtрaxt@ya.ru).

**Информационное обеспечение Симпозиума на сайтах
<https://www.eeste.org>, <http://chemtech-committee.ru>**

Состав комитета:

Абиев Р.Ш. проф. (Россия), Акулич А.В. проф. (Беларусь), Акулич П.В. проф. (Беларусь), Бабкин В.В. проф. (Россия), Балыхин М.Г. проф. (Россия), Белгородский В.С. проф. (Россия), Блиничев В.Н. проф. (Россия), Бокова Е.С. проф. (Россия), Вошкин А.А. проф. (Россия), Гуляев Ю.В. акад. РАН (Россия), Гусев Б.В., чл.-корр. РАН (Россия), Дорняк О.Р. проф. (Россия), Друкаренко С.П. д-р (Россия), Иванов В.В. чл.-корр. РАН (Россия), Кильдеева Н.Р. проф. (Россия), Кобраков К.И. проф. (Россия), Кошелева М.К. проф. (Россия), Кулов Н.Н. проф. (Россия), Левицкий С.П. проф. (Израиль), Леонтьев Л.И. акад. РАН (Россия), Лесовик В.С. чл.-корр. РААСН (Россия), Лукачевский Б.П. д-р. (Россия), Мешалкин В.П. акад. РАН (Россия), Мизонов В.Е. проф. (Россия), Павлюкевич Н.В., чл.-корр. НАН Р. Беларусь (Беларусь), Рудобашта С.П. проф. (Россия), Тураев А.С. акад. Академии наук р. Узбекистан (Узбекистан), Федосов С.В. акад. РААСН (Россия), Хмелёв В.Н. проф. (Россия), Холькин А.И. акад. РАН (Россия), Цивадзе А.Ю. акад. РАН (Россия), Черепенин В.А. чл.-корр. РАН (Россия), Юртов Е.В. чл.-корр. РАН (Россия), Alves-Filho O. prof. (Norway), Berthiaux Henri prof. (France), Dang Vu Minh, prof. (Vietnam), David Fletcher, prof. (Australia), Ditl P. prof. (Czech Reb.), Dmitry Yu. Murzin, prof. (Finland), Faiçal Larachi, prof. (Canada), Gerhardt Ribatski, prof. (Brazil), Gong K.E., prof. (China), Jirout T. prof. (Czech Reb.), Jürgen Brandner, prof. (Germany), Kiwi-Minsker Liubov, prof. (Switzerland), Thomas Kiefer, prof. (Germany), Krawczyk J. prof. (Poland), Mark Simmons, prof. (UK), Martin Woerner, prof. (Germany), Martine Poux, prof. (France), Martyn Poliakoff, prof. (UK), Mechtcherin Victor prof. (Germany), Mujumdar Arun S, prof. (Canada, Singapore), Rieger F. prof. (Czech Reb.), Ritunesh Kumar, prof. (India), Smechowski Krzysztof, prof. (Poland), Środulska-Krawczyk Małgorzata, prof. (Poland), Tapio Salmi, prof. (Finland), Volker Hessel, prof. (Netherlands).

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| СЕКЦИЯ 1. «ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И ОБОРУДОВАНИИ ХИМИЧЕСКОЙ, ТЕКСТИЛЬНОЙ, ЛЁГКОЙ, ПИЩЕВОЙ И ДРУГИХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА» | 12 |
| ПОДСЕКЦИЯ 1.1. «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ, ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВ» | 12 |
| А. В. АКУЛИЧ, А. А. АКУЛИЧ, Б. П. ЛУКАЧЕВСКИЙ, В. М. ЛУСТЕНКОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ И ОБОРУДОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ПОТОКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ | 12 |
| С. В. ФЕДОСОВ, В. Н. ФЕДОСЕЕВ, Л. А. ОПАРИНА, А. Б. ПЕТРУХИН, В. А. ЕМЕЛИН ЭНЕРГО- И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЙ ПРОЦЕСС АЭРОТЕРМИИ В ТЕХНОЛОГИИ ОТОПЛЕНИЯ МАЛОЭТАЖНЫХ СТРОЕНИЙ ВОЗДУШНЫМИ ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ..... | 17 |
| П. П. БЕЗРУКИХ, П. П. БЕЗРУКИХ(МЛ) ЭНЕРГЕТИКА МИРА И РОССИИ. ТЕНДЕНЦИИ И ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ В XXI ВЕКЕ..... | 19 |
| В. А. НЕСТЕРОВ, В. Н. ХМЕЛЁВ, А. В. ШАЛУНОВ, Р. Н. ГОЛЫХ, С. Ф. РЫЖОВА, А. Н. СЛИВИН ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОАГУЛЯЦИИ АЭРОЗОЛЕЙ В СТОЯЧЕЙ ВОЛНЕ | 23 |
| Д. А. КОЗУБ, Л. В. РЕДИНА, П. С. КАЗАРЯН, Н. А. ЛЮБИМЦЕВ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В КАЧЕСТВЕ РАСТВОРИТЕЛЯ ПОЛИ-2-ПЕРФТОРПЕТОКСИТЕТРАФТОРПРОПИЛАКРИЛАТА ДЛЯ ПРИДАНИЯ ВОЛОКНИСТЫМ МАТЕРИАЛАМ АНТИАДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ | 28 |
| М. К. КОШЕЛЕВА, В. Т. КАЗУБ, М. З. ЦИНЦАДЗЕ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЕ ЭКСТРАГИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ | 32 |
| А. Н. РАДЮК, А. Н. БУРКИН РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ НИЗА ОБУВИ, ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА | 36 |
| М. К. КОШЕЛЕВА, В. Н. ХМЕЛЁВ, Т. А. НОВИКОВА, Р. Н. ГОЛЫХ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА | 40 |
| Н. В. ИВАНОВ, А. И. ЧЕРТКОВ, В. И. ГОМБОЛЕВСКИЙ МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ SGT5-4000F С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА ПГУ-420 СЕРОВСКОЙ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ | 43 |
| В. Б. ПАВЛОВ, Р. Р. ДАМИНЕВ, С. П. ИВАНОВ, Л. З. КАСЬЯНОВА, Е. А. ШУЛАЕВА, Е. А. КРАЛЬКИНА, К. В. ВАВИЛИН, И. И. ЗАДИРИЕВ ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ КАТАЛИЗАТОРОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ АКТИВНОСТИ | 47 |

| | |
|---|----|
| Г. В. КАЛАШНИКОВ ЭКСЕРГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЯ И ВЛАГОУДАЛЕНИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СЫРЬЯ | 51 |
| С. Г. ДЬЯЧКОВА, С. Ю ЛЯШОНОК НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ В НЕФТЕХИМИИ | 54 |
| А. А. ЗАКИРОВ, М. К. КАРИМОВ ФАКТОРЫ СБЕРЕЖЕНИЯ РЕСУРСОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН | 57 |
| Н. М. ШАРПАР, Л. И. ЖМАКИН, М. В. ЕФИМОВ, Р. А. ПЕЛЕВИНА, Т. С. ОДИНЦОВА ГЕЛИОКОЛЛЕКТОР ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ТЕКСТИЛЬНЫМ АБСОРБЕРОМ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СЕЗОННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ | 61 |
| Г. И. ПЕРВАК АНИЗОТРОПНОСТЬ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ | 65 |
| М. О. СЕНИНА, Д. О. ЛЕМЕШЕВ, М. С. ПЕДЧЕНКО ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПЕКАЮЩЕЙ ДОБАВКИ LiF НА СВОЙСТВА КЕРАМИКИ ИЗ АЛЮМОМАГНИЕВОЙ ШПИНЕЛИ | 67 |
| Х. И. УМАРОВА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН | 71 |
| Л. А. ЯРМОЛИК, Е. М. ЛОБАЦКАЯ ПРИМЕНЕНИЕ ХОЛОДНОГО ШЛИХТОВАНИЯ ОСНОВНЫХ НИТЕЙ ПРИ ВЫРАБОТКЕ ПОЛУШЕРСТЯНОЙ КОСТЮМНОЙ ТКАНИ | 74 |
| А. Г. ХАРИТОНОВИЧ, Л. А. ЩЕРБИНА, Л. Н. ЛЕВЬЮК, К. Ю. УСТИНОВ, В. А. БОНДАРЕНКО ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ АПРОТОННЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ЭНЕРГО- И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ | 77 |
| А. А. ЗАВАЛИЙ, В. С. ПАШТЕЦКИЙ РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ СОХРАНЕНИЯ НАТИВНЫХ СВОЙСТВ ЯГОД, ПЛОДОВ, ЛЕКАРСТВЕННЫХ И ЭФИРОНОСНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ПОДГОТОВКИ К ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ | 80 |
| О. В. КОЗЛОВА, Е. Г. ПОЛУШИН ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРОПРОНИЦАЕМЫХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ | 85 |
| Н. В. КОЛОКОЛКИНА ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С НАНОДОБАВКАМИ В СТРУКТУРЕ ПОЛИМЕРА | 88 |
| А. А. ШАГАРОВА, Л. А. ИЛЬИНА СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОПЕЛЛЕРНОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ МЕШАЛОК | 92 |
| А. Н. БУРКИН, В. Д. БОРОЗНА МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИСКУССТВЕННЫХ КОЖ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОБУВИ | 97 |

| | |
|--|------------|
| Д. В. ЛЕОНОВ, Т. П. УСТИНОВА, Н. Л. ЛЕВКИНА ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА УГЛЕРОДНАПОЛНЕННОГО ПОЛИАМИДА-6 | 100 |
| Е. Н. ПОПОВА, А. А. СОЛОВЬЕВ ПРАВОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ «СТЕПЕНИ ЛОКАЛИЗАЦИИ» ГЕНЕРИРУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ | 103 |
| О. Д. ЕГОРОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА МЕХАНИЗМОВ .. | 105 |
| Ю. В. БРАЖНИК, Н. П. НЕСМЕЯНОВ, Р. Ш. АБИЕВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СМЕШИВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СУХИХ СМЕСЕЙ..... | 109 |
| В. А. КОРОТКОВ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ И УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ | 113 |
| ПОДСЕКЦИЯ 1.2. «НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ» | 119 |
| В. С. ЛЕСОВИК, А. А. ВОЛОДЧЕНКО ГЕОНИКА (ГЕОМИМЕТИКА). ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ..... | 119 |
| А. В. ШАЛУНОВ, В. Н. ХМЕЛЕВ, В. А. НЕСТЕРОВ, Р. Н. ГОЛЫХ, А. С. ПЕТРИЩЕВ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ КОАГУЛЯЦИЯ АЭРОЗОЛЕЙ В ТОНКИХ РЕЗОНАНСНЫХ ПРОМЕЖУТКАХ..... | 124 |
| А. Н. ОСТРИКОВ, А. И. АЛЕКСАНДРОВ РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АППАРАТА ДЛЯ ВЛАГОТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА..... | 128 |
| И. Ю. ФИЛАТОВ, Е. С. БОКОВА, М. А. СМУЛЬСКАЯ, И. А. КАПУСТИН СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ НАНОВОЛОКОН .. | 133 |
| П. А. СЕВОСТЬЯНОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ РАВНОВЕСНОСТИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИХ | 138 |
| Л. И. ЗОЛИНА, К. О. ГРАЧЕВА, В. И. РОДИОНОВ ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЗОЛЕЙ СЕРЕБРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ..... | 140 |
| Г. И. ХАЗАНОВ, М. А. АПАРУШКИНА ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРОМЫВКИ ПРЕССОВЫХ СУКОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЮЩЕГО СРЕДСТВА ПРЕВОЦЕЛЛ W-OFР-100 | 143 |
| Ю. Г. ЧЕСНОКОВ ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА РЕЙНОЛЬДСА НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ ВБЛИЗИ ТВЕРДЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ..... | 146 |
| Д. Б. РЫКЛИН, В. М. АЗАРЧЕНКО, М. А. ДЕМИДОВА ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ НА УСТАНОВКЕ FLUIDNATEK LE-50 | 149 |
| Н. В. СТЕПНОВ, С. В. КУЗЯКОВА, В. Ф. АБРАМОВ РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗГРУЖАТЕЛЕЙ В БАТАННОМ МЕХАНИЗМЕ ТКАЦКОГО СТАНКА СТБ..... | 152 |

| | |
|---|-----|
| Ю. А. ТАРАН, А. В. КОЗЛОВ ВЛИЯНИЕ ЗАКУПОРИВАНИЯ ПОР НА ПРОЦЕСС ФИЛЬТРАЦИИ СУСПЕНЗИИ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ | 156 |
| Ш. Х. УМЕДОВ, Б. Ш. АКРАМОВ, А. Б. ЕШМУРАТОВ, Т. О. КОМИЛОВ РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ТАМПОНАЖНОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ..... | 160 |
| В. Н. ХМЕЛЁВ, С. Н. ЦЫГАНOK, Е. В. ИЛЬЧЕНКО, В. А. ШАКУРА, М. В. ХМЕЛЁВ КАВИТАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЧЕРЕЗ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ СРЕДЫ: СПОСОБЫ РЕАЛИЗАЦИИ И АППАРАТНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ..... | 165 |
| Л. Г. ХИСАМИЕВА, Е. Ю. СЕМЕНОВА, Ю. Н. КАРАНДАШОВА, И. Н. САДЫКОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕРВОПРИВОДОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ШВЕЙНЫХ МАШИН | 169 |
| В. Ф. АБРАМОВ, Н. В. СТЕПНОВ СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГИБКО-ШАТУННЫХ РАСКРОЙНЫХ НОЖЕЙ | 171 |
| М. Г.-Г. БАГОМЕДОВ, А. С. ПУШНОВ, М. Г. БЕРЕНГАРТЕН ОЦЕНКА ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КОЛОННЫХ АППАРАТАХ С НАСАДКОЙ | 177 |
| М. К. ЗАХАРОВ, М. И. ПРУСАЧЕНКОВА ОЦЕНКА ЗАТРАТ ТЕПЛОТЫ И СПОСОБНОСТИ ЖИДКИХ СМЕСЕЙ РАЗДЕЛЯТЬСЯ МЕТОДОМ РЕКТИФИКАЦИИ..... | 180 |
| Д. В. КОЛОТИЛИН, А. В. ДЕДОВ ГЕРМЕТИЧНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИУРЕТАНА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ТОПЛИВА ВОЗДУШНЫМ ТРАНСПОРТОМ..... | 184 |
| А. В. МЕЩЕРЯКОВ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ФРИКЦИОННАЯ МУФТА ДЛЯ ПРИВОДОВ ТКАЦКИХ МАШИН | 187 |
| В. А. НАУМОВ ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИАМИДНОЙ НИТИ | 190 |
| П. Н. РУДОВСКИЙ, И. С. БЕЛОВА ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЬНЯНОЙ ПРЯЖИ ПУТЕМ СОВМЕЩЕНИЯ ВЬЮРКОВОГО СПОСОБА СО СПОСОБОМ RAVENA | 194 |
| Ю. Т. КАГАНОВ, О. А. ГАРИН, С. В. ХЕЙЛО, К. Э. РАЗУМЕЕВ, М. Н. КОВЕГА ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ..... | 197 |
| Е. В. ЛУПАЧЕВ, А. В. ПОЛКОВНИЧЕНКО, В. А. ЛОТХОВ, Н. Н. КУЛОВ ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОКРАТНОГО РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ЭФФЕКТА ДЕЙТЕРИЙ- ПРОТИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РАВНОВЕСИЯ ЖИДКОСТЬ-ПАР ВОДНЫХ РАСТВОРОВ МОЧЕВИНЫ | 200 |
| П. А. СЕВОСТЬЯНОВ ВОЗМОЖНОСТИ СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА В ИССЛЕДОВАНИЯХ НЕРОВНОТЫ ОДНОМЕРНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ ПРОДУКТОВ ... | 203 |

| | |
|---|------------|
| П. А. СЕВОСТЬЯНОВ, Т. А. САМОЙЛОВА, В. И. МОНАХОВ, М. Л. ТИХОМИРОВА, Д. А. ЗАБРОДИН СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РЫХЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ | 206 |
| Ж. А. СУХИНЕЦ, А. И. ГУЛИН НОВЫЙ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗОВ ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ..... | 211 |
| А. И. ПАПУША, И. А. ПАПУША ТРАНСЗВУКОВОЕ ГОРЕНИЕ – БАЗОВАЯ ОСНОВА ПРОРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РЕШЕНИИ ЭКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ | 213 |
| СЕКЦИЯ 2. «ПРОЦЕССЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ТЕХНОСФЕРЫ (ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ)» | 218 |
| Н. Р. КИЛЬДЕЕВА, Е. А. ПОДРОЖКО, А. Н. ВЕЛШКО, В. И. ЛОЗИНСКИЙ НОВЫЕ БИОСОРБЕНТЫ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ..... | 218 |
| С. В. ФЕДОСОВ, В. Н. ФЕДОСЕЕВ, Л. А. ОПАРИНА АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХЛАДАГЕНТОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫМИ ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ НА ПРИНЦИПАХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ | 221 |
| А. С. БЕЛОУСОВ, В. В. ГОЛОВАНОВ, Е. И. ГОЛОВАТЫЙ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ И ЭФФЕКТИВНОСТИ В АППАРАТЕ СО ВСТРЕЧНЫМИ ЗАКРУЧЕННЫМИ ПОТОКАМИ | 223 |
| В. А. АКАТЬЕВ, Е. В. МЕТЕЛКИН, Л. В. ВОЛКОВА ОПОВЕЩЕНИЕ ГРАЖДАН О ПРИБЛИЖЕНИИ РАЗРУШИТЕЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ..... | 227 |
| П. И. ИБРАГИМОВА ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН..... | 231 |
| Д. А. СОЛОВЬЕВ СПЕЦИФИКА И РИСКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИЭ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ | 235 |
| Н. С. ШУЛАЕВ, В. В. ПРЯНИЧНИКОВА, Н. А. БЫКОВСКИЙ, Р. Р. КАДЫРОВ, Р. М. ДАМИНЕВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЧИСТКИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВ | 239 |
| Е. С. БОБКОВА, А. Е. ПИРЦУЛ, И. Д. САМОФАЛОВА ОБРАЗОВАНИЕ ГАЗОФАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СВЧ-РАЗРЯДА НА ЖИДКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ | 243 |
| К. И. КОБРАКОВ, Д. Н. КУЗНЕЦОВ, А. Г. РУЧКИНА, И. Н. БЫЧКОВА, Е. Б. КАРАВАЕВА, В. И. РОДИОНОВ БЕЗОПАСНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ КАФЕДРЫ «ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ» | 246 |
| М. С. МУЛЛАКАЕВ, Г. Б. ВЕКСЛЕР, Р. М. МУЛЛАКАЕВ МОБИЛЬНЫЙ СОНОХИМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕШЛАМОВ | 250 |

| | |
|--|-----|
| В. М. БАРАНЦЕВ, Н. В. БОГДАНОВ, Т. Е. ПЛАТОВА, С. К. КУЗИН СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА ГИБРИДНЫХ ПОЛИАНИЛИН-ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК НА ВОЛОКНИСТЫХ НОСИТЕЛЯХ | 254 |
| И. В. ОВСЯННИКОВА, Р. М. ХАЙРУЛЛИН НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ ЗАГРЯЗНЁННЫХ НЕФТЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ | 257 |
| А. А. ВИНОГРАДОВ, А. С. БЕЛОУСОВ, С. Г. САФОНОВ МЕТОДЫ ОБОБЩЕНИЯ ДАННЫХ ПО ИНЕРЦИОННЫМ АППАРАТАМ И СИСТЕМАМ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ | 259 |
| Э. С. ВАРДАНЯН, А. А. ЗАХАРОВА, В. С. САЛТЫКОВА, Н. П. БОРУШКО АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА КАЧЕСТВО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ..... | 264 |
| О. С. КОЧЕТОВ, Е. С. БОРОДИНА, М. П. ТЮРИН ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ВОЛОКНИСТОЙ ПЫЛИ | 266 |
| А. А. ЗАХАРОВА, В. С. САЛТЫКОВА, Э. С. ВАРДАНЯН, Е. С. ВАЙНЕРМАН, Н. П. БОРУШКО ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ СОРБЦИОННЫМ МЕТОДОМ..... | 271 |
| Х. А. АХМЕДОВА УТИЛИЗАЦИЯ ПОПУТНЫХ НЕФТЯНЫХ ГАЗОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН | 273 |
| В. В. СИГАЧЕВА МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ ХРОМОСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД..... | 276 |
| К. В. ЧЕРНОВ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПОСРЕДСТВОМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ..... | 279 |
| Е. С. БОРОДИНА, О. И. СЕДЛЯРОВ, О. С. КОЧЕТОВ, А. Р. ТЯГУНОВ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СНИЖЕНИЯ ШУМА РЕЗИНООПЛЕТОЧНЫХ МАШИН ТИПА ОРН-1 ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ | 283 |
| Е. А. ВОРОЖЕЙКИН, В. О. ЩЕКУНСКИХ МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИЛ ПО ТУШЕНИЮ МАССОВОГО ПОЖАРА | 288 |
| Л. В. НЕФЕДОВА, А. А. СОЛОВЬЕВ АНАЛИЗ РИСКОВ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ВОЗОБНАВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ | 292 |
| В. Д. РАДНАЕВА, Н. В. СОВЕТКИН, Д. В. ШАЛБУЕВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОЖЕВЕННОГО И МЕХОВОГО ПРОИЗВОДСТВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ | 296 |
| Е. С. БОРОДИНА, М. П. ТЮРИН, О. С. КОЧЕТОВ РАСЧЕТ ТАРЕЛЬЧАТОГО ВИБРОИЗОЛЯТОРА | 300 |
| Н. В. АЛЕКСЕЕВА, Н. Ц. ГАТАПОВА ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ | 304 |
| Е. С. БОРОДИНА, М. А. АПАРУШКИНА, О. С. КОЧЕТОВ РАСЧЕТ СКРУББЕРА В СИСТЕМЕ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ ПРИ СУШКЕ РАСПЫЛЕНИЕМ..... | 306 |

**СЕКЦИЯ 1. «ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И ОБОРУДОВАНИИ
ХИМИЧЕСКОЙ, ТЕКСТИЛЬНОЙ, ЛЁГКОЙ, ПИЩЕВОЙ И ДРУГИХ
ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И АГРОПРОМЫШЕННОГО
КОМПЛЕКСА»**

**ПОДСЕКЦИЯ 1.1. «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ,
ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВ»**

УДК 621.928.93

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ И ОБОРУДОВАНИЕ НА ОСНОВЕ
ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ПОТОКОВ НА
ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ENERGY EFFICIENT METHODS AND EQUIPMENT ON THE BASIS OF SWIRLING
FLOWS FOR PURIFYING POWDER-GAS FLOWS AT THE ENTERPRISES OF FOOD
AND CHEMICAL INDUSTRIES**

**Александр Васильевич Акулич*, Александр Александрович Акулич*,
Борис Петрович Лукачевский**, Виктор Михайлович Лустенков*
Alexander V. Akulich*, Alexander A. Akulich*, Boris P. Lukachevskiy**,
Viktor M. Lustenkov***

**Могилевский государственный университет продовольствия,
Беларусь, Могилев*

** Mogilev State University of Food Technologies, Belarus, Mogilev
(e-mail: mgup@mogilev.by)*

*** ООО «Химфуд», Россия, Москва*

*** Chemfood Ltd, Russia, Moscow
(e-mail: lukachev@him-holding.ru)*

Аннотация: Рассмотрены разработанные новые способы и типы вихревых пылеуловителей на основе взаимодействующих закрученных потоков для очистки газов от твердых частиц. Даны результаты теоретических и экспериментальных исследований их гидродинамики. Приведены промышленные образцы различных типов созданных пылеуловителей и их внедрение в производство.

Abstract: New methods and types of vortex dust collectors based on interacting swirling flows that were developed for purifying gas from solid matters are considered. The results of theoretical and experimental studies of their hydrodynamics are revealed. Industrial samples of different types of the developed dust collectors and their manufacturing application are also described.

Ключевые слова: Способы очистки газов, закрученные потоки, вихревые пылеуловители, гидравлическое сопротивление, эффективность улавливания.

Keywords: methods of gas purifying, swirling flows, vortex dust collectors, hydraulic resistance, collection efficiency.

Разнообразие стоящих на предприятиях пищевой и химической промышленности технологических задач требует применения различных способов и оборудования для очистки пылегазовых потоков от мелкодисперсных твердых частиц. Пылеуловителями оснащаются аспирационные системы, сушильные установки, оборудование для измельчения материалов и т.д.

В настоящее время наибольшее применение находят центробежные пылеуловители (циклоны), различные фильтры, а также мокрые пылеуловители. При этом применяются как одноступенчатые, так и двухступенчатые системы пылеочистки.

В работе разработаны новые способы и конструкции пылеуловителей на основе взаимодействующих закрученных потоков: вихревые противоточные пылеуловители (ВПП), прямоточные вихревые пылеуловители (ПВП) [1], а также комбинированные пылеуловители (КП) [2]. В вихревых противоточных пылеуловителях очистка газов от мелкодисперсных частиц происходит в сепарационной зоне в режиме взаимодействия двух запыленных потоков (периферийного и центрального) закрученных в одну сторону и движущихся навстречу друг другу вдоль вертикальной оси. При этом центральный вращающийся поток, движущийся снизу вверх внутри периферийного перемещающегося сверху вниз подкручивает его. В таком гидродинамическом режиме взаимодействия потоков обеспечивается высокая эффективность улавливания мелкодисперсных частиц.

Для улавливания различных по физико-механическим свойствам пылей разработаны вихревые противоточные пылеуловители, в которых форма корпуса выполняется: цилиндрической, цилиндроконической сужающейся книзу, цилиндроконической расширяющейся книзу [3].

Проведены теоретические и экспериментальные исследования и на их основе разработаны вихревые противоточные пылеуловители ВПП-300, ВПП-350, ВПП-400, ВПП-450, ВПП-500, ВПП-550, ВПП-600, ВПП-650, ВПП-700, которые внедрены в системах аспирации на промышленных предприятиях хлебопродуктов для улавливания зерновой и мучной пылей, а также для улавливания мелкодисперсных пылей катализаторного производства на предприятиях минудобрения.

Впервые создан новый способ очистки запыленных газов на основе двух взаимодействующих потоков (периферийного и центрального) закрученных в одну сторону и движущихся сверху вниз вдоль вертикальной оси [4-5]. При этом центральный закрученный поток находясь внутри периферийного подкручивает его, обеспечивая сохранность крутки по мере нисходящего движения. В процессе такого взаимодействия не происходит деформации периферийного потока, что приводит к снижению затрат энергии на очистку запыленных газов. Для стабилизации гидродинамической структуры взаимодействующих потоков и уменьшения зон разряжения в прямоточных вихревых пылеуловителях установлены дополнительные шайбы, корпус выполнен коническим и оснащен промежуточным бункером, в зоне сепарации установлена цилиндрическая обечайка.

Исследована гидродинамика прямоточных вихревых пылеуловителей и установлено, что при одинаковых режимах работы ПВП характеризуются меньшим гидравлическим сопротивлением, чем вихревые противоточные пылеуловители, обеспечивая при этом достаточно высокую эффективность улавливания мелкодисперсных частиц.

Для очистки пылегазовых потоков больших объемов разработаны новые способы, реализованные в групповых (батареиных) вихревых пылеуловителях на основе взаимодействующих закрученных потоков [6-9]. В них гидродинамическое взаимодействие периферийных и центральных потоков газозвеси происходит в корпусе, образованном из двух цилиндрических обечайек, установленных без зазора на общем бункере уловленного материала. При этом периферийные потоки запыленного газа подаются в верхней части обечайек, а центральные - в нижней в противоточных аппаратах, и в верхней части в прямоточных.

Созданы лабораторные установки и проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований их гидродинамики. На основе уравнения энергетического баланса потоков впервые получена зависимость для расчета гидравлического сопротивления групповых прямоточных вихревых пылеуловителей, состоящих из двух корпусов:

$$\Delta P = \frac{1}{2} [(\Delta P'_1 + \Delta P''_1) \cdot k + (\Delta P'_2 + \Delta P''_2) \cdot (1 - k)], \quad (1)$$

где $\Delta P'_1, \Delta P''_1, \Delta P'_2, \Delta P''_2$ – потери полного давления, соответственно, периферийных и центральных потоков запыленного газа в каждой из цилиндрических обечаек, Па;

$k = Q_1/Q_0$ – кратность расходов;

Q_1, Q_2 – объемные расходы запыленного газа, подаваемого через периферийные и центральные патрубки, м³/с;

$Q_0 = Q_1 + Q_2$ – общий объемный расход запыленного газа через аппарат, м³/с.

Определены режимные и конструктивные параметры, оказывающие влияние на гидравлическое сопротивление и эффективность улавливания мелкодисперсных частиц пыли: кратность расходов (k) – это отношение объемного расхода газа подаваемого через периферийные патрубки к общему объемному расходу газа ($k=Q_1/Q$); отношение диаметра центральных завихрителей к диаметру корпусов прямооточных вихревых пылеуловителей (d/D); отношение высоты установки центральных завихрителей к высоте корпусов прямооточных вихревых пылеуловителей (h/H).

Проведен комплекс экспериментальных исследований группового прямооточного вихревого пылеуловителя по плану Vox-Behnken для трех факторов варьирования на трех уровнях, в интервалах изменения режимных и конструктивных параметров: $k=0,4\div 0,8$; $d/D=0,3\div 0,46$; $h/H=0,25\div 0,5$ со значениями параметров в центре плана $k=0,6$; $d/D=0,38$; $h/H=0,375$. Общий объемный расход газа через аппарат составил $Q=500$ м³/ч= $0,1389$ м³/с.

На основе обработки полученных данных получены зависимости для расчета гидравлического сопротивления, коэффициента гидравлического сопротивления и эффективности улавливания соляной пыли в групповом прямооточном вихревом пылеуловителе от режимных и конструктивных параметров:

$$\Delta P = 496,2 + 204,4 \cdot k - 54,45 \cdot \left(\frac{d}{D}\right) + 86,29 \cdot k^2 - 172,8 \cdot k \cdot (h/H) + 137,4 \cdot (h/H)^2 \quad (1)$$

$$\zeta = 21,69 + 9,15 \cdot k - 2,30 \cdot (d/D) + 4,28 \cdot k^2 - 7,55 \cdot k \cdot (h/H) + 5,88 \cdot (h/H)^2 \quad (2)$$

$$\eta = 76,17 + 32,19 \cdot k + 8,77 \cdot (d/D) - 18,03 \cdot k^2 - 9,10 \cdot (d/D)^2 + 8,72 \cdot (d/D) \cdot (h/H) \quad (3)$$

Установлено, что в интервалах изменения режимных и конструктивных параметров $k = 0,4\div 0,65$, $d/D = 0,32\div 0,46$ и $h/H = 0,25\div 0,44$, обеспечивается наименьшее гидравлическое сопротивление $\Delta P = 269,3\div 600$ Па и коэффициент гидравлического сопротивления $\zeta = 10\div 35$ разработанного группового прямооточного вихревого пылеуловителя (ГПВП).

На рисунке 1 приведена зависимость эффективности улавливания соляной пыли в групповом прямооточном вихревом пылеуловителе от k и h/H при $d/D=0,46$. Установлено, что эффективность улавливания соляной пыли в ГПВП достигает значений более 96 % при $k = 0,7\div 0,8$, $h/H = 0,375\div 0,5$ и $d/D = 0,46$.

Проведена оптимизация режимно-конструктивных параметров группового прямооточного вихревого пылеуловителя и установлены интервалы изменения режимных и конструктивных параметров: $k=0,55\div 0,7$; $d/D=0,37\div 0,39$ и $h/H=0,25\div 0,38$, при которых обеспечивается наибольшая эффективность улавливания мелкодисперсных частиц соляной пыли в групповом прямооточном вихревом пылеуловителе при наименьшем его гидравлическом сопротивлении.

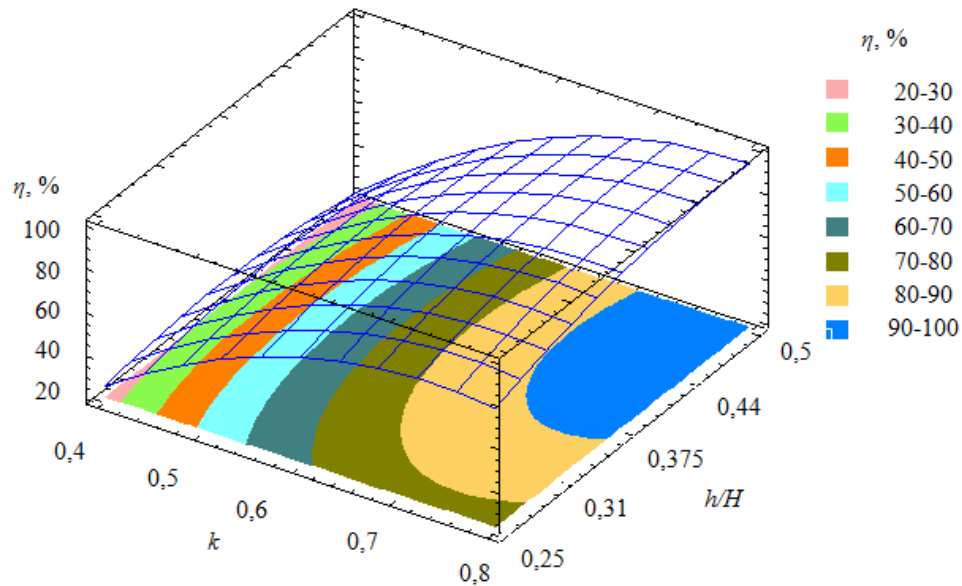


Рисунок 1 – Зависимость эффективности улавливания соляной пыли в групповом прямоточном вихревом пылеуловителе от k и h/H при $d/D=0,46$

Разработаны и внедрены групповые вихревые пылеуловители ГВП-750-2 с производительностью по запыленному газу $Q_0=22520\div 26280$ м³/ч на ОАО «Мозырьсоль» и БВП-350-2 на ОАО «Лидапищеконцентраты» ($Q_0=5040$ м³/ч).

Для более тонкой очистки запыленных газов разработан высокоэффективный комбинированный способ и конструкции пылеуловителей для его реализации. Отличительной особенностью способа является совмещение в едином энергетическом поле аппарата центробежного улавливания мелкодисперсных частиц в системе двух взаимодействующих вихревых потоков, закрученных в одном направлении и движущихся навстречу друг другу с последующей доочисткой газа фильтрованием [2].

Впервые получена зависимость для определения коэффициента гидравлического сопротивления комбинированного пылеуловителя

$$\zeta_0 = \zeta_1 k^3 + \zeta_2 (1-k)^3 + \zeta_3 \frac{D_k^4}{n^2 d_p^4} \quad (5)$$

где $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ – коэффициенты гидравлического сопротивления камеры центробежного улавливания соответственно при подаче газа только через периферийный и центральный патрубки, стадии фильтрования; D_k – диаметр камеры центробежного улавливания, м; d_p – диаметр фильтровального рукава, м; n – число рукавов.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработаны и внедрены комбинированные пылеуловители КП-350-10 ($Q_0 = 2100$ м³/ч) и КП-400-10 ($Q_0 = 3000$ м³/ч) для улавливания сахарной пудры на ОАО «Красный Мозырянин».

Выводы

Созданы новые способы очистки пылегазовых потоков на основе взаимодействующих закрученных потоков и энергоэффективное оборудование для их реализации: вихревые противоточные и прямоточные пылеуловители (одиночные и групповые), а также комбинированные аппараты.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования гидродинамики разработанных пылеуловителей. На основе уравнения энергетического баланса потоков впервые получена зависимость для расчета гидравлического сопротивления групповых прямоточных вихревых пылеуловителей, состоящих из двух цилиндрических обечаек. Получены зависимости для расчета гидравлического сопротивления, коэффициента гидравлического сопротивления и эффективности улавливания соляной пыли в групповом

прямоточном вихревом пылеуловителе от режимных и конструктивных параметров. Впервые разработан высокоэффективный комбинированный способ очистки газа от твердых частиц и пылеуловители для его реализации.

Приведены результаты промышленного внедрения созданных пылеуловителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулич А. В. Новое в теории и технике очистки газов от пыли на основе взаимодействующих вихревых потоков / Вестник МГУП. – 2012. – № 2 (13). – С. 101–106.

2. Alexandr V. Akulich, Viktor M. Lustenkov, Viachaslau A. Sharshunou, Alexandr A. Akulich. Studies on the Hydrodynamics of the Combined Dust Collector on the Basis of Vortex Flows and Outer Filtering and the Development of the Effective Methods of Cleaning Gases from Solid Particles / Alexandr V. Akulich, Viktor M. Lustenkov, Viachaslau A. Sharshunou, Alexandr A. Akulich // «Food Science, Engineering and Technology – 2016»: Scientific Works of University of Food Technologies Proceedings of the 63rd Scientific Conference with Internacional Participation: Volume 63, Issue 1, s.283–288.

3. Вихревой пылеуловитель: а.с. 1466795 СССР / Б.С. Сажин, Б.П. Лукачевский, А.В. Акулич, А.И. Буяров, П.В. Акулич, Н.И. Кикабидзе; Моск. текст ин-т. // Открытия. Изобретения. – 1989. – № 11. – С. 28.

4. Устройство для выделения частиц из газового потока: пат. 3475 Респ. Беларусь / А.В. Акулич, Б.С.Сажин, П.В.Акулич, А.Г.Егоров; заявитель Могил.технол. ин-т. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтелектуал. уласнасці. – 2000. – № 3. – С. 93-94.

5. Акулич А.В., Лустенков В.М., Акулич А.А. Эффективные способы и вихревые аппараты для очистки пылегазовых выбросов от мелкодисперсных частиц // Вестник МГУП. – 2018. – № 1 (24). – С. 75–81.

6. Способ очистки газа от твердых частиц: Евразийский патент 029246, В1 В01D 50/00 / А.В. Акулич, В.М. Лустенков, А.А. Акулич; заявитель Могил.гос. ун-т продовольствия.– № 201500461; заявл. 01.04.2015; выдан 28.02.2018.

7. Акулич А.В., Шушкевич К.В. Групповой вихревой пылеуловитель. Патент Республики Беларусь 8329, МПК⁷ В 04С 3/06, 5/28, 2006.

8. Акулич А.В., Шушкевич К.В., Акулич А.А. Батарейный вихревой пылеуловитель. Патент Республики Беларусь 17948, МПК⁷ В 04С 3/06, 2014.

9. Акулич А.В., Лустенков В.М., Акулич А.А. Новые способы очистки газов и групповые пылеуловители на основе взаимодействующих вихревых потоков. Сборник научных трудов VI-ого Международного научно-технического Симпозиума “Современные энерго- и ресурсосберегающие технологии СЭТТ–2017” Международного научно-технического Форума Первые международные Косыгинские чтения“ (11–12 октября 2017 года) Т.2 / М.:ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2017. С. 47–52.

УДК 697.148

**ЭНЕРГО- И РЕСУРСООЭФФЕКТИВНЫЙ ПРОЦЕСС АЭРОТЕРМИИ В
ТЕХНОЛОГИИ ОТОПЛЕНИЯ МАЛОЭТАЖНЫХ СТРОЕНИЙ ВОЗДУШНЫМИ
ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ**
**ENERGY AND RESOURCE EFFICIENT PROCESS OF AEROTHERMIA IN THE
TECHNOLOGY OF HEATING OF LOW-RISE CONSTRUCTIONS
BY AIR HEAT PUMPS**

**Сергей Викторович Федосов, Вадим Николаевич Федосеев,
Людмила Анатольевна Опарина, Александр Борисович Петрухин,
Виктор Александрович Емелин**
**Sergey V. Fedosov, Vadim N. Fedoseev, Lyudmila A. Oparina,
Alexander B. Petrukhin, Victor A. Emelin**

*ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»,
Россия, г. Иваново*

Ivanovo State Polytechnic University, Russia, Ivanovo

*(e-mail: fedosov-academic53@mail.ru, 4932421318@mail.ru, L.A.Oparina@gmail.com,
a.petruhin@mail.ru, viktor@inbox.ru)*

Аннотация: В статье освещаются вопросы энерго- и ресурсоэффективности при отоплении зданий воздушными тепловыми насосами. Показана актуальность использования воздушных тепловых насосов как энергосберегающих систем, использующих возобновляемые источники энергоресурсов. Представлены результаты авторских исследований в данной области. Приведены авторские взгляды на совершенствование теплонасосной системы в направлении увеличения коэффициента трансформации.

Abstract: The article covers the issues of energy and resource efficiency in heating buildings with air heat pumps. The urgency of using air heat pumps as energy saving systems using renewable energy sources is shown. The results of the author's research in this area are presented. The authors describe their view on the increase coefficient of performance air heat pumps

Ключевые слова: Аэротермия, воздушный тепловой насос, термодинамический процесс, возобновляемые источники энергоресурсов

Keywords: Aerothermy, air heat pump, thermodynamic process, renewable energy sources

В современных условиях особую актуальность приобретают вопросы разработки и внедрения энергосберегающих систем, использующих возобновляемые источники энергоресурсов (ВИЭ). Необходимыми становятся системы масштабного использования экологически чистых источников энергии, распределенной возобновляемой энергетики. Крупным потребителем энергоресурсов является строительная отрасль и ЖКХ, потребляющие до 40% всех энергоресурсов. Научно-практические изыскания, проведенные авторами в климатических условиях ЦФО РФ, говорят о возможности использования в качестве возобновляемых источников энергии воздушных тепловых насосов (ВТН). Отопление ВТН является практически единственным в настоящее время эффективным, экологически чистым источником тепла в зданиях, особенно, если невозможно или дорого подвести к зданию центральное отопление и магистральный газ, а использование импортных устройств (приборов) на основе альтернативных (возобновляемых) источников энергии дорого или недостаточно эффективно при низких температурах наружного воздуха [1]. Однако современные ВТН нельзя отнести к абсолютно работающим на возобновляемых источниках энергоресурсов, так как для их работы требуется незначительная часть электрической энергии для компрессора ВТН. Поэтому разработка технологии получения

электрической энергии, используя возобновляемые источники для обеспечения автономного функционирования ВТН в настоящем и будущем является крайне актуальной.

Существенным недостатком современных ВТН в наших умеренно холодных климатических условиях является низкий коэффициент их работы, определяемый как коэффициент трансформации COP (англ. COP - сокр. от coefficient of performance). Традиционные отопительные воздушные тепловые насосы работают сверхэффективно с коэффициентом преобразования, значения которого лежат в интервале 3,5...5 [2]. Тепловые насосы, работающие с коэффициентом преобразования от 2 до 3 и ниже, считаются мало (низко) эффективными. Такая работа, если в этом есть необходимость, допустима лишь в течение относительно небольшого отопительного (сезонного) промежутка времени. Таким образом, актуальной является разработка воздушных тепловых насосов с коэффициентом COP равным 5-10. Кроме этого, существующая нормативная документация проектирования теплонасосных систем не рассматривает такой основополагающий фактор как особенности климатических условий района, удельные тепловые потери современных малоэтажных зданий, тарифы на энергоносители и т.д., что влияет на производительность системы в целом и ресурсоэффективный процесс жизненного цикла малоэтажных строений.

В настоящее время тема использования воздушных тепловых насосов рассматривается в широком диапазоне наружных температур, что по мнению авторов, для энергоэффективного и экономически целесообразного отопления, необходимо использовать дополнительный электронагревательный источник в автоматизированном погодозависимом варианте, интегрированным в контроллер воздушного теплового насоса. Проблема полного автономного режима работы ВТН без стороннего источника в настоящее время не решена, что является стимулом к дальнейшему развитию исследований в данной области. По мнению авторов, полная автономность может быть достигнута путём использования принципов энергетической инверсии, то есть извлечения рассеянного тепла из окружающего воздуха и, как следствие, получение необходимой электрической энергии из окружающей среды согласно электронно-квантового подхода идеи академика П.К. Ощепкова. В развитии идеи энергоинверсии весьма полезным является появление графена – двумерного материала, проявляющего необычные и одновременно весьма полезные свойства. Его открытие сулит не только новые технологии, но и развитие фундаментальной физики, результатом чего могут стать новые знания о строении материи. Научной гипотезой наших исследований является возможность использования принципов энергоинверсии на основе создания технологии получения микропровода (материи) с возможностью сверхтонкого поперечного сечения, при одновременном сохранении свойств металла. Наиболее близким по этим свойствам является графен, возможность применения которого, с учётом его свойств можно рассматривать в будущем для эффективного функционирования испарительно-конденсаторного блока ВТН.

Разрабатывая теоретические основы эффективных термодинамических процессов, протекающих в испарительно-конденсаторном блоке воздушного теплового насоса, используя возможные условия энергоинверсии и предлагаемые методы расчета, влияющие на производительность воздушных теплонасосных систем, мы тем самым добиваемся полной автономной работы и нивелирования климатических условий при использовании возобновляемых источников энергоресурсов.

Развитие идеи энергоинверсии на основе использования графена будет способствовать развитию фундаментальной физики в области нанотехнологий и термодинамики. По данным экспериментальных данных можно будет судить о кинетике и динамике процессов тепломассопереноса, определить условия работы отопительных систем на основе воздушных тепловых насосов, что внесёт существенный вклад в научный поиск и внедрение автономной, экологически чистой, экономически эффективной возобновляемой энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Румянцев Е.В., Федосов С.В., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Чистякова Ю.А. Инновационные решения безопасных и экологичных систем теплоснабжения производственных зданий как фактор снижения энергоёмкости российской экономики //

Вестник Воронежского института ГПС МЧС России (Современные проблемы гражданской защиты). 2018. № 4. С. 45-50.

2. Румянцев Е.В., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Опарина Л.А., Чистякова Ю.А. Социально-экономические эффекты от снижения энергоёмкости российской экономики. Иваново. 2018. ПресСто, 128 с.

УДК 620

**ЭНЕРГЕТИКА МИРА И РОССИИ.
ТЕНДЕНЦИИ И ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ В XXI ВЕКЕ
ENERGETICS OF THE WORLD AND RUSSIA.
TRENDS AND DYNAMICS AND CHANGES IN THE 21ST CENTURY**

Павел Павлович Безруких *, Павел Павлович Безруких(Мл)
Pavel P. Bezrukikh*, Pavel P. Bezrukikh(Jg)****

**Московский Энергетический Институт, Россия, Москва*

**Moscow Power Engineering Institute, Russia, Moscow*

***ПАО «ЛУКОЙЛ»старший менеджер, Россия, Москва*

***PJSC “LUKOIL” senior manager, Russia, Moscow*

(e-mail: bezruky@yandex.ru, Pavel.Bezrukikh@lukoil.com)

Аннотация: Рассмотрены балансы производства электроэнергии мощности Мира, США, Европы и России, показаны основные тенденции развития энергетики в мире, рассчитаны среднегодовые темпы роста установленной мощности четырех видов электростанций на базе ВИЭ, определены для этих электростанций средневзвешенные значения коэффициентов использования установленной мощности.

Abstract: The balances of power generation in the World, the USA, Europe and Russia are considered, the main trends in the development of energy in the world are shown, the average annual growth rates of installed power of four types of power plants based on renewable energy sources are calculated, the weighted average values of installed power factors are determined for these power plants.

Ключевые слова: Баланс мощностей, баланс энергии, станции ветровые, фотоэлектрические, геотермальные, на базе биомассы, темпы роста, себестоимость электроэнергии, удельная стоимость.

Keywords: Power balance, energy balance, wind, photovoltaic, geothermal, biomass-based stations, growth rates, cost of electricity, unit cost.

Тенденции изменений.

На современном этапе в производстве электрической энергии получили развитие, по крайней мере три тенденции:

- увеличение доли природного газа;
- увеличение доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ);
- как следствие сокращение доли угля;

В таблице 1 представлены балансы производства электроэнергии в Мирове, США, Европе и России [1]. Как видим, в мире доля угля(38%) превышает остальные виды топлива, но тенденция его сокращения не вызывает сомнений. Не вызывает сомнений и рост доли ВИЭ, хотя Россия отстает в этом вопросе, даже по сравнению с общей ситуацией в мире. Сложнее дело обстоит с АЭС. В Европе в целом за период с 1995 года до 2015 года выведено из работы АЭС мощностью 11,8 ГВт [2], однако многие страны мира наращивают мощность АЭС. Какая тенденция в АЭС победит, видимо, будет ясно к 2025 году. Следует отметить, что табл.1 составлена по данным ВР. Эта организация замечена в

недооценке возобновляемых источников энергии в энергобалансе. В мире существует другая авторитетная организация: REN21 – Renewable Policy Network for the 21st Century

Таблица 1 – Баланс производства электроэнергии 2017 год

| | Мир | | США | | Европа | | Россия | |
|-----------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | ТВт·ч | % | ТВт·ч | % | ТВт·ч | % | ТВт·ч | % |
| Всего | 25551 | 100 | 4282 | 100 | 3901,3 | 100 | 1091,2 | 100 |
| нефть | 883 | 3,46 | 22,7 | 0,53 | 61,6 | 1,6 | 15,8 | 1,41 |
| Прир. газ | 5915,3 | 23,16 | 1369 | 31,97 | 774,6 | 19,85 | 529,9 | 48,56 |
| Уголь | 9723,4 | 38,05 | 1314, | 30,69 | 841,3 | 21,56 | 153,3 | 14,06 |
| АЭС | 2635,6 | 10,31 | 847,3 | 19,79 | 850,7 | 21,80 | 203,1 | 18,62 |
| ГЭС | 4059,9 | 15,89 | 296,5 | 6,93 | 576,2 | 14,76 | 183,3 | 16,81 |
| ВИЭ | 2151,5 | 8,42 | 418,9 | 9,76 | 715,1 | 18,33 | 1,2 | 0,11 |
| Прочие | 182,6 | 0,72 | 13,6 | 0,33 | 81,9 | 2,1 | 4,7 | 0,43 |
| Доля | 100% | | 16,8% | | 15,3% | | 4,3% | |

Как будет показано ниже, по данным этой организации доля ВИЭ в мире в 2017 году составила 11%, а не 8,4% как показано в таблице 1. Итак, по данным REN21 Renewables . 2018 [3] в электро балансе мира на невозобновляемые источники энергии, включая АЭС, приходится 73,5%, а на возобновляемые, включая ГЭС, 26,5%. При этом: ГЭС – 16,4, а все ВИЭ – 10,1% (ВЭС – 5,6%, БиоЭС – 2,2%, ФЭС – 1,4%, ГеоЭС и океан ЭС -0,4%).

Динамика изменений.

Структура баланса мощностей в ЕС [4] за период с 2000 года по 2015 год претерпела характерные изменения. Так, доля угля снизилась на 7%, АЭС почти на 9%, а ветра возросла на 13%, а доля ФЭС возросла на более 10%. Возобновляемая энергетика стала предметом государственной политики более 250 государств, штатов, провинций, установивших разные цели по достижению доли ВИЭ в энергобалансе.

В таблице 2 приведена динамика показателей использования ВИЭ в мире за период с 2004 по 2018 год. [1]. Установлено, что доля ВИЭ по установленной мощности на 99% определяется мощностью ветровых (ВЭС), фотоэлектрических (ФЭС), на базе биомассы (БиоЭС) и геотермальных (ГеоЭС) электростанций. Установленная мощность этих электростанций в 2018 году, соответственно, равна: 590 ГВт, 504 ГВт, 134 ГВт и 13 ГВт, всего 1241 ГВт. Результаты расчета средневзвешенного значения коэффициента использования установленной мощности ($K_{\text{иум}}$) по видам ВИЭ, по данным средневзвешенных значений $K_{\text{иум}}$ для девяти объединений стран и трех стран (Китай, США, Индия) [1] и данных по установленной мощности [5] по объединениям стран и указанным странам в 2016 году приведены ниже..

Средневзвешенные коэффициенты использования установленной мощности по видам ВИЭ равны: по ВЭС $K_{\text{иум}} = 0,3$; по ФЭС $K_{\text{иум}} = 0,165$; по БиоЭС $K_{\text{иум}} = 0,75$ и по ГеоЭС $K_{\text{иум}} = 0,79$. То есть, $K_{\text{иум}}$ для УГЭС в 2,6 раза больше, чем для ВЭС и в 4,8 раз больше, чем для ФЭС. Поэтому, доля ГеоЭС в общем балансе производства электроэнергии значительна.

Таблица 2 – Динамика показателей возобновляемой энергетики мира

| Показатель | Значение показателей по годам | | | | | |
|---|-------------------------------|------|-------|-------|-------|------|
| | 2004 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Новые годовые инвестиции, млрд. долл. США | 45 | 220 | 285,9 | 264,6 | 279,8 | |
| Мощность на базе ВИЭ (без ГЭС), ГВт | 85 | 315 | 785 | 921 | 1081 | |
| Мощность на базе ВИЭ (с ГЭС), ГВт | 800 | 1260 | 1849 | 2017 | 2195 | |
| Мощность (БиоЭС), ГВт | <36 | 40 | 106 | 112 | 122 | 134 |
| Мощность ГЭС, ГВт | 715 | 945 | 1064 | 1096 | 1114 | 1136 |
| Производство электроэнергии на базе биомассы, ТВт·ч | 227 | - | 464 | 504 | 555 | |
| Мощность (ГеоЭС), ГВт | 8,9 | 10,6 | 12,0 | 12,1 | 12,8 | 13 |
| Мощность фотоэлектрических станций (ФЭС), ГВт | 2,6 | 40 | 227 | 303 | 402 | 504 |
| Мощность термодинамических электростанций, ГВт | 0,4 | 1,3 | 4,8 | 4,8 | 4,9 | |
| Мощность ветростанций (ВЭС) | 48 | 198 | 433 | 487 | 539 | 590 |

Мощность четырех видов электростанций на базе ВИЭ на 99% определяет долю ВИЭ в электробалансе мира.

Очевидно, что с увеличением объема ввода мощности темпы замедляются, но даже за последний год по фотоэнергетике они – беспрецедентны (25,4 %), по ветро(9,5%) и биоэнергетике (9,8%) энергетике – значительны, а по геотермальной энергетике – весьма малы (1,6%).

По ветроэнергетике [5] отметим следующую динамику :

- Общая установленная мощность ВЭС увеличилась за период с 2007 по 2018 год с 94 ГВт до 593 ГВт, то есть, в 6,3 раза.
- В первую десятку по мощности ВЭС в 2017 году вошли страны: Китай (188 ГВт), США (89 ГВт), Германия (56 ГВт), Индия (33 ГВт), Испания (23 ГВт), Великобритания (19 ГВт), Франция (14 ГВт), Канада (12 ГВт), Италия (9 ГВт), Швеция (7 ГВт).
- В 2017 году мощность ВЭС превысила 1 ГВт в 28 странах.
- Растет единичная мощность ветротурбин. Самая мощная ветротурбина Westas, мощностью 8 МВт, в работе достигла 9 МВт.
- Стремительно растет мощность наземных ветростанций. Перечень ВЭС мощностью 500 МВт и более содержит 22 ВЭС. Самая мощная ВЭС находится в Китае – 6800 МВт.
- Стремительно развиваются морские ВЭС. Перечень таких ВЭС мощностью 200 МВт и выше содержит 25 станций. Самая мощная ВЭС находится в Великобритании – 1312 МВт (сооружена в 2018 г).
- Энергетический срок окупаемости ВЭС составляет от 0,5 до 0,9 года.
- Нормированная себестоимость электроэнергии от ВЭС в США, Китае, Северной Америки и Азии колеблется от 0,55 до 0,6 \$/кВт*ч, то есть, стала меньше себестоимости электроэнергии от тепловых станций на угле. Коэффициент использования установленной мощности на ВЭС в большинстве в ветроэнергетике превышает 0,3.

По фотоэнергетике необходимо ответить следующую динамику.

- Общая установленная мощность ФЭС увеличилась за период с 2007 года по 2018 год с 8 ГВт до 504 ГВт, то есть, в 63 раза. А за период с 2010 по 2018 с 40 ГВт до 504 ГВт, то есть, в 12,6 раза.
- В первую десятку стран в 2017 году входят: Китай (131,1 ГВт), США (51 ГВт), Япония (47 ГВт), Германия (42,4 ГВт), Италия (19,7 ГВт), Индия (18,3 ГВт), Великобритания (12,7 ГВт), Франция (8,0 ГВт), Австралия (7,2 ГВт), Испания (5,6 ГВт).
- Растет мощность ФЭС. В 2017 году перечень ФЭС мощностью 200 МВт и выше содержал 50 электростанций в 15 странах мира.. Срок энергетической окупаемости ФЭС составляет от 0,7 до 2 лет, в зависимости от типа модулей и места установки.
- . Наименьшие значения нормированной себестоимости электроэнергии от ФЭС имеют место в Южной Америке (0,08 \$/КВт*ч), Индии (0,09 \$/КВт*ч), и Китае (0,1 \$/КВт*ч), то есть, примерно совпадают со стоимостью электроэнергии от угольных станций в этих странах. Наибольшие значения 0,21 \$/КВт*ч наблюдаются в Евразии.

Достигнутое значение $K_{иум} = 0,2$ в большинстве стран следует считать реальным и весьма удовлетворительным значением.

Выводы

- Более 250 стран, штатов, провинций приняли национальные цели по достижению различных долей производства электроэнергии на базе возобновляемых источников энергии.
В 2017 году доля ВИЭ с ГЭС составила - 26,5%, а без ГЭС - 10,1%
- В России в период с 2015 по 2018 годы достигнут определенный прогресс по вводу мощности [6]. Так в Единой Энергетической Система (ЕЭС) России установленная мощность ВЭС увеличилась с 10,9 МВт до 183,9 МВт, а мощность ФЭС с 50 МВт до 834 МВт . При этом $K_{иум}$ ВЭС (18,3%) пока существенно уступает достигнутому за рубежом, а $K_{иум}$ ФЭС (14,6%) приближается к достигнутому за рубежом. Создана отечественная производственная база фотоэнергетики и создаётся по ветроэнергетике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. BP (British Petroleum). Statistical Review of World Energy 2018
2. Wind in Power: 2015 European Statistics February 2016
3. REN21. Renewables 2005-2018. Global Status Report
4. GWEC – Global World Energy Council. 2018
5. IRENA. Renewable Capacity Statistics 2017.
6. Отчеты системного оператора ЕЭС России о функционировании ЕЭС России за 2015-2018 годы.

УДК 66.084.8

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОАГУЛЯЦИИ
АЭРОЗОЛЕЙ В СТОЯЧЕЙ ВОЛНЕ
STUDY OF THE PROCESS OF ULTRASONIC COAGULATION OF
AEROSOLS IN A STANDING WAVE**

**Виктор Александрович Нестеров, Владимир Николаевич Хмелёв,
Андрей Викторович Шалунов, Роман Николаевич Голых,
Светлана Федоровна Рыжова, Алексей Николаевич Сливин
Viktor A. Nesterov, Vladimir N. Khmelev, Andrey V. Shalunov, Roman N. Golykh,
Alexey A. Nesterov, Svetlana F. Ryzhova, Alexey N. Slivin**

*Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова», Россия, Бийск
Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, Russia, Biysk
(e-mail: nva@bti.secna.ru; vnh@bti.secna.ru; shalunov@bti.secna.ru; grn@bti.secna.ru,
iron_xx88@mail.ru; sweta300498@yandex.ru; san@bti.secna.ru)*

Аннотация: В статье представлены результаты теоретических исследований процесса коагуляции частиц в стоячей ультразвуковой волне. Исследования показали, высокую эффективность коагуляции частиц в стоячей волне. С помощью разработанной теоретической модели получены зависимости эффективности коагуляции от режимов УЗ воздействия.

Abstract: The article presents the results of theoretical studies of the process of coagulation of particles in a standing ultrasonic wave. Studies have shown the high efficiency of coagulation of particles in a standing wave. With the help of the developed theoretical model, the dependences of the coagulation efficiency on the ultrasonic exposure modes were obtained.

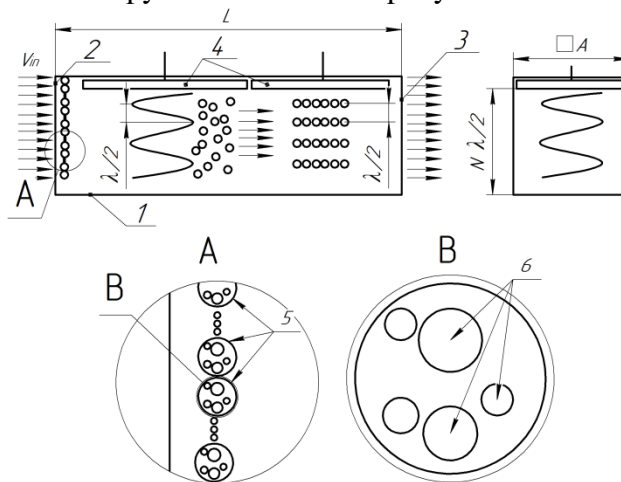
Ключевые слова: Ультразвук, коагуляция, стоячая волна, очистка газа.

Keywords: Ultrasound, coagulation, standing wave, gas cleaning.

Проблема отделения высокодисперсной твёрдой фазы от газовой среды имеет несомненную актуальность для многих областей деятельности человечества [1]. Это и улавливание выбросов аэрозольных частиц в атмосферу для улучшения экологии планеты, и отделение готового продукта в технологических процессах. Одним из перспективных направлений повышения эффективности улавливания высокодисперсных частиц является их предварительная коагуляция в высокоинтенсивных акустических полях [2-5].

До настоящего времени не было проведено комплексных исследований процесса коагуляции при воздействии на частицы высокоинтенсивными УЗ колебаниями с установлением режима стоячей волны, вследствие отсутствия источников ультразвуковых колебаний, обеспечивающих такой режим излучения. При этом, формирование стоячей волны в газовой среде является наиболее выгодным режимом, позволяющим максимально эффективно использовать энергию ультразвуковых колебаний при осуществлении процесса акустической коагуляции высокодисперсных частиц. Также, отсутствие данных об оптимальных режимах ультразвукового воздействия и условиях, не позволило разработать оборудование, обеспечивающее максимальную эффективность коагуляции. В связи с этим, задача теоретического исследования коагуляции аэрозолей с учётом акустического воздействия высокой интенсивности, реализующим режим стоячей волны, является актуальной и требующей решения. Для исследования процесса коагуляции дисперсных частиц была предложена и разработана теоретическая модель, состоящая из двух уровней детализации. Верхний уровень детализации описывает одновременное движение некоторого количества частиц в потоке. В рамках верхнего уровня дисперсные частицы, движущиеся в

потоке и изменяющие свое положение в пространстве относительно других частиц, заменяются условными модельными группами частиц. Это необходимо для учета изменения расстояний между частицами, а следовательно учета изменения концентрации частиц за счет градиента звукового давления. Также произведен учет распределения интенсивности колебаний в объеме камеры, так как это в большей степени влияет на эффективность процесса коагуляции. При этом поле скоростей рассчитывается на основе волнового уравнения Гельмгольца. Таким образом, при обеспечении в коагуляционной камере стоячей акустической волны возникают узловые области и за счет большого градиента акустического давления. При этом группы частиц будут стремиться в узловые области, таким образом происходит их сближение, расстояние между частицами изменяется на несколько порядков, за счет чего эффективность коагуляции повышается. В свою очередь, нижний уровень детализации описывает процессы коагуляции частиц в пределах каждой условной группы, вызванные наложением ультразвукового поля. Схематичное изображение принципа объединения частиц в условные группы показано на рисунке 1.



1 – коагуляционная камера; 2 – вход; 3 – выход; 4 – источник УЗ воздействия;
5 – дисперсные частицы; 6 – группа частиц (макроскопическая частица)

Рисунок 1 – Схематичное изображение принципа объединения частиц в условные группы

Сущность используемого подхода для построения модели коагуляции дисперсных частиц за счет УЗ воздействия заключается в следующем. Предполагается, что масса каждой дисперсной частицы в границах условной модельной группы пропорциональна m_0 , таким образом, каждая дисперсная частица с массой km_0 , где k – целое число ($k \geq 1$). Далее используют функции $n_k(t)$, каждая из которых – концентрация частиц, с массой km_0 , или k -мер. Кинетика процесса коагуляции описывается на основании уравнения Смолуховского [6] для пространственно однородной коагуляции, и дополненного слагаемым, учитывающим изменение концентрации дисперсных частиц за счет взаимного перемещения групп частиц между собой в узловые области вследствие высокого градиента звукового давления:

$$\frac{\partial n_k}{\partial t}(t) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{k-1} \beta_{i,k-i} n_i(t) n_{k-i}(t) - n_k(t) \sum_{i=1}^M \beta_{i,k} n_i(t) - \frac{1}{\tau_k} \left(\pi_{4,5,6} \begin{pmatrix} x_{k0} \\ y_{k0} \\ z_{k0} \\ u_{xk0} \tau_k \\ u_{yk0} \tau_k \\ u_{zk0} \tau_k \end{pmatrix} \exp \left(\begin{pmatrix} O_3 & E_3 \\ \tau_k \Phi_3 & -E_3 \end{pmatrix} t \right), \nabla \right) n_k \quad (1)$$

где M – количество мер; k – натуральное число, изменяющееся от 1 до M (искомая система уравнений состоит из уравнения 1 при различных k); $\beta_{i,k}$ – ядро коагуляции, которое характеризует вероятность столкновения i -мер и k -мер, m^3/c ; $n_k(t)$ – концентрация k -мер в

момент времени t , m^3 ; E_3 – единичная матрица размером 3×3 ; O_3 – нулевая матрица размером 3×3 ; $\pi_{4,5,6}$ – оператор проекции 6-мерного вектора на 3-мерный вектор $\pi_{4,5,6} \begin{pmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{pmatrix}$;

Φ_3 – матрица градиента скорости $\mathbf{u}_k = \Phi_3 \mathbf{r}_k$.

Первое слагаемое правой части уравнения определяет интенсивность повышения концентрации k -мер за счёт соударения i -мер и k -мер. Второе слагаемое правой части уравнения определяет интенсивность уменьшения концентрации k -мер из-за соударения k -мер с другими дисперсными частицами в условной группе. Третье слагаемое характеризует смещение группы частиц относительно других за счёт их движения в узловых областях за счет градиента звукового давления. Диаметр группы частиц вычисляется как средний объемно-поверхностный диаметр частиц, находящихся в ней:

$$d_{3,2(a)} = \frac{\sum_{i=1}^N d_i^3}{\sum_{i=1}^N d_i^2} \quad (2)$$

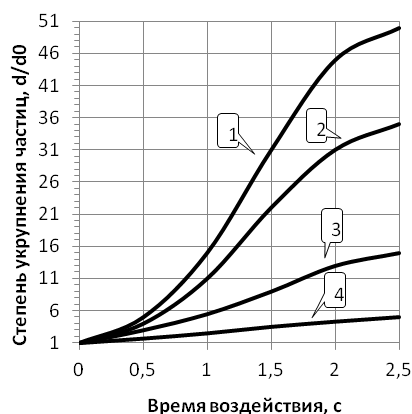
где $d_{3,2(a)}$ – диаметр агломерата, м; N – количество дисперсных частиц в группе; d_i – диаметры частиц входящих в группу.

Таким образом, для одной группы частиц получена замкнутая система дифференциальных уравнений (3). Полученная система уравнений позволяет рассчитать диаметр условных групп частиц в коагуляционной камере с учетом объединения частиц внутри группы под действием ультразвуковых колебаний.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial n_k}{\partial t}(t) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{k-1} \beta_{i,k-i} n_i(t) n_{k-i}(t) - n_k(t) \sum_{i=1}^M \beta_{i,k} n_i(t) - \frac{1}{\tau_k} \left(\pi_{4,5,6} \begin{pmatrix} x_{k0} \\ y_{k0} \\ z_{k0} \\ u_{xk0} \tau_k \\ u_{yk0} \tau_k \\ u_{zk0} \tau_k \end{pmatrix} \exp \left(\begin{pmatrix} O_3 & E_3 \\ \tau_k \Phi_3 & -E_3 \end{pmatrix} t \right) \right) \cdot \nabla n_k \\ \\ d_{3,2(a)} = \frac{\sum_{i=1}^N d_i^3}{\sum_{i=1}^N d_i^2} \end{array} \right. \quad (3)$$

Для исследования коагуляции дисперсных частиц был проведен численный анализ разработанной физико-математической модели. Исследования проводились по каждому из параметров отдельно, при этом все остальные параметры задавались некоторыми известными значениями. На начальном этапе исследования модели была определена зависимость диаметра групп частиц, от времени УЗ-воздействия при различных начальных диаметрах частиц (рисунок 2).

Анализ графиков (рисунок 3) показал, что, степень укрупнения дисперсных частиц прямо пропорциональна времени УЗ воздействия. При этом увеличение времени воздействия до 2 сек. позволяет существенно увеличить размеры агломератов. При дальнейшей УЗ обработке (2,5 сек) эффективность коагуляции дисперсных частиц существенно замедляется.



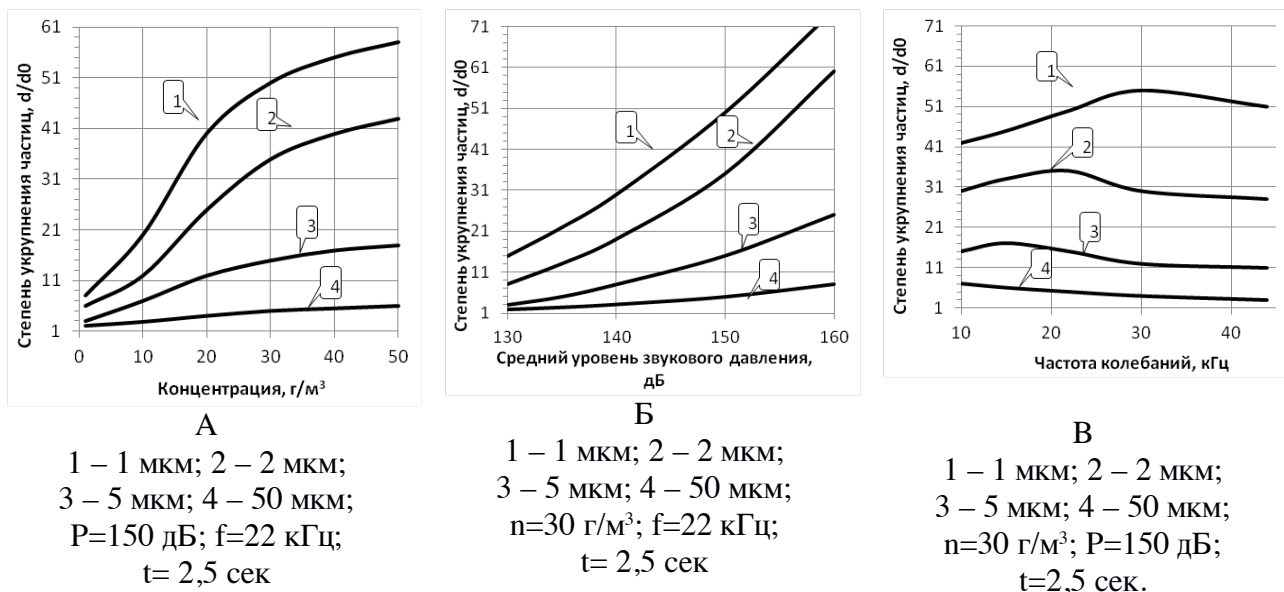
1 – 1 мкм; 2 – 2 мкм; 3 – 5 мкм; 4 – 50 мкм

Рисунок 2 – Зависимость степени укрупнения частиц от времени УЗ воздействия при различных начальных размерах дисперсных частиц ($P=150$ дБ; $f=22$ кГц; $n=30$ г/м³)

Анализ графиков показал, что существует три условных временных интервала, в течение которых происходит коагуляция частиц. Первый интервал (соответствует промежутку времени 0–0,7 секунды), в течение которого значения диаметров групп частиц слабо изменяются, эффективность коагуляции низкая. Это связано с низким значением начальной концентрации дисперсных частиц, при этом в течение первого условного интервала времени не происходит существенного перемещения частиц в узловые области. Таким образом, анализ роста диаметров агломератов позволяет сделать вывод, что концентрация частиц в узловых областях в течение первого условного интервала не достигает критического уровня, не позволяя увеличить эффективность коагуляции за это время. Второй условный интервал времени (соответствует промежутку времени 0,7 – 2 с.), в течение которого происходит существенное увеличение эффективности коагуляции и быстрый рост диаметров частиц за счет перемещения большей части частиц в узловые области. Таким образом, происходит перераспределение частиц с образованием областей с высокой концентрацией. Третий интервал (на графиках соответствует промежутку времени 2–2,5 секунды). На данном промежутке происходит снижение эффективности коагуляции дисперсных частиц за счет того, что почти все частицы переместились в узловые области. Также из графиков видно, что чем меньше диаметр дисперсных частиц, тем достигается выше степень укрупнения.

С целью определения влияния концентрации дисперсных частиц, уровня звукового давления и частоты УЗ колебаний на эффективность процесса коагуляции далее был проведен численный анализ модели и получены зависимости (рисунок 3).

Проведенный анализ полученных зависимостей (рисунок 3 А) показал, что на эффективность процесса коагуляции помимо времени воздействия также влияет и массовая концентрация дисперсных частиц. При концентрации от 1 до 7 г/м³ эффективность коагуляции низкая. Это объясняется тем, что даже при условии, что большая часть дисперсных частиц переместилась в узловые области, расстояние между частицами слишком велико для их объединения. Однако в диапазоне концентраций от 7 до 20 г/м³ эффективности коагуляции возрастает за счет уменьшения расстояний между частицами. При концентрации выше 20 г/м³ эффективность коагуляции снижается, при этом степень укрупнения находится в прямой зависимости от концентрации. Анализ графиков (рисунок 3 Б) показал, что эффективность коагуляции пропорциональна среднему уровню звукового давления. Однако на практике возможно разрушение агломератов частиц при воздействии УЗ колебаниями с уровнем звукового давления выше 160 дБ, однако, разработанная модель не учитывает этого фактора. Анализ графиков (рисунок 3 В) показал, что присутствуют экстремумы (достигается максимальная эффективность коагуляции) на определенных частотах. Так, например, для частиц с начальным диаметром 1 мкм максимальная эффективность достигается на частоте 30 кГц, для 2 мкм – 22 кГц, 5 мкм – 15 кГц, для 50 мкм – ниже 10 кГц.



А – массовой концентрации при различных начальных размерах дисперсных частиц
 Б – уровня звукового давления при различных начальных размерах дисперсных частиц

В – частоты колебаний при различных начальных размерах дисперсных частиц

Рисунок 3 – Зависимость степени укрупнения частиц от режимов и условий

Выводы

В результате выполнения работы разработана математическая модель процесса коагуляции дисперсных частиц в стоячей акустической волне. Проведен численный анализ разработанной физико-математической модели УЗ коагуляции. Выявлены зависимости эффективности коагуляции от параметров УЗ воздействия и параметров газодисперсного потока.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект №19-19-00121).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ужов В.Н. Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И., Решидов И.К. Очистка промышленных газов от пыли. М.: Химия, 1981. 392 с.
2. Gallego-Juárez J. A, Graff K. F. Power Ultrasonics: Applications of High-Intensity Ultrasound, Woodhead Publishing, 2015. P.1166.
3. Gallego-Juarez J.A., Riera-Franco de Sarabia E., Rodrigues-Corral G., Hoffman T.L., Galvez-Moraleda J. C., Rodriguez-Maroto J.J Gomez-Moreno., F.J., Bahillo-Ruiz A., Martin-Espigares M., Acha M. Application of acoustic agglomeration to reduce fine particle emissions from coal combustion plants // Environmental science and technology. 1999. Vol. 33. No. 21. pp. 3843-3849.
4. Khmelev V.N., Shalunov A.V., Nesterov V.A., Golykh R.N., Dorovskikh R.S. Increase of separation efficiency in the inertial gas-purifying equipment by high-intensity ultrasonic vibrations // International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2014: Conference Proceedings. Novosibirsk: NSTU, 2014. P. 233 – 239.
5. Khmelev V.N., Shalunov A.V., Galakhov A.N., Nesterov V.A., Golykh R.N., Khmelev M.V. The Control of the Ultrasonic Coagulation of Dispersed Nanoscale Particles // 14th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, EDM'2013: Conference Proceedings. Novosibirsk: NSTU, 2013. pp. 166–170.
6. Changdong Sheng, Xianglin Shen. Modelling of acoustic agglomeration processes using the direct simulation Monte Carlo method // Journal of Aerosol Science. 2006. Vol.37.(1). pp.16–36.

УДК 678.743.41:547.995.12

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В
КАЧЕСТВЕ РАСТВОРИТЕЛЯ
ПОЛИ-2-ПЕРФТОРПЕТОКСИТЕТРАФТОРПРОПИЛАКРИЛАТА ДЛЯ ПРИДАНИЯ
ВОЛОКНИСТЫМ МАТЕРИАЛАМ АНТИАДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ
THE SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE AS A SOLVENT FOR
POLY-2-PERFLUORPETHOXYTETRAFLUOROPROPYLACRYLATE TO IMPART
ANTI-ADHESIVE PROPERTIES TO FIBROUS MATERIALS**

Дмитрий Александрович Козуб*, Людмила Васильевна Редина*,
Полина Суменовна Казарян**, Николай Алексеевич Любимцев**
Dmitry A. Kozub*, **Ludmila V. Redina***, **Polina S. Kazaryan****, **Nikolay A. Lubimtsev****

* *Российский государственный университет им. А.Н.Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва*

* *The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: ishim-1993@mail.ru, lvredina@mail.ru)*

** *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Россия, Москва*

** *Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow
(e-mail: kazaryan@polly.phys.msu.ru, lyubimtsev@polly.phys.msu.ru)*

Аннотация: В статье представлены результаты исследования гидро-, олеофобных свойств вискозной ткани, обработанной поли-2-перфторпетохситетрафторпропилакрилатом двумя разными способами: пропитка водной дисперсией (латексом) и обработка в среде сверхкритического диоксида углерода. Построена фазовая диаграмма системы полимер–CO₂.

Abstract: The article presents the results of a research of the hydro-, oleophobic properties of viscose fabric modified by Poly-2-perfluoropethoxytetrafluoropropylacrylate in two different methods: impregnation with water dispersion (latex) and in the environment of supercritical carbon dioxide. The phase diagram of the polymer-CO₂ system was described.

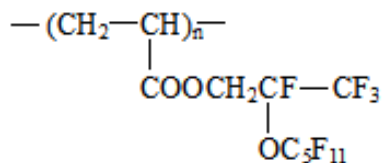
Ключевые слова: сверхкритический диоксид углерода, фторполимерный латекс, гидрофобные свойства, олеофобные свойства.

Keywords: supercritical carbon dioxide, fluoropolymer latex, hydrophobic properties, oleophobic properties.

В настоящее время в промышленности сформировался устойчивый спрос на текстильные материалы, обладающие целым рядом защитных свойств [1]. Таких как огнестойкость, гидро-, олеофобность, антимикробные свойства, тепло-, электроизоляция и др. Материалы, с указанными свойствами, используют для производства спецодежды людей, работающих в экстремальных условиях и требующих защиты от агрессивного воздействия окружающей среды. Например, для пожарных, спасателей МЧС, спецназа, и т.д. Также возможно применение материалов с повышенными огнезащитными и водо-, маслоотталкивающими показателями в качестве обивочного материала в салоне самолетов, кораблей, автомобилей.

Для придания текстильному материалу гидро-, олеофобных свойств наиболее эффективны фторорганические соединения, что обусловлено особыми свойствами атомов фтора [2]. Фторуглеродная связь характеризуется меньшей склонностью к внутри- и межмолекулярным взаимодействиям, высокой прочностью, малой инертностью и поляризуемостью. Поэтому фторсодержащие полимеры, входящие в состав материалов, обеспечивают им низкую поверхностную энергию и придают поверхности эффект несмачиваемости.

Фторполимеры для модификации текстильных материалов обычно используют в форме латексов [3]. В данной работе в качестве гидро-, олеофобизатора использован латекс поли-2-перфторпетокситетрафторпропилакрилата (ЛФМ-НФ):



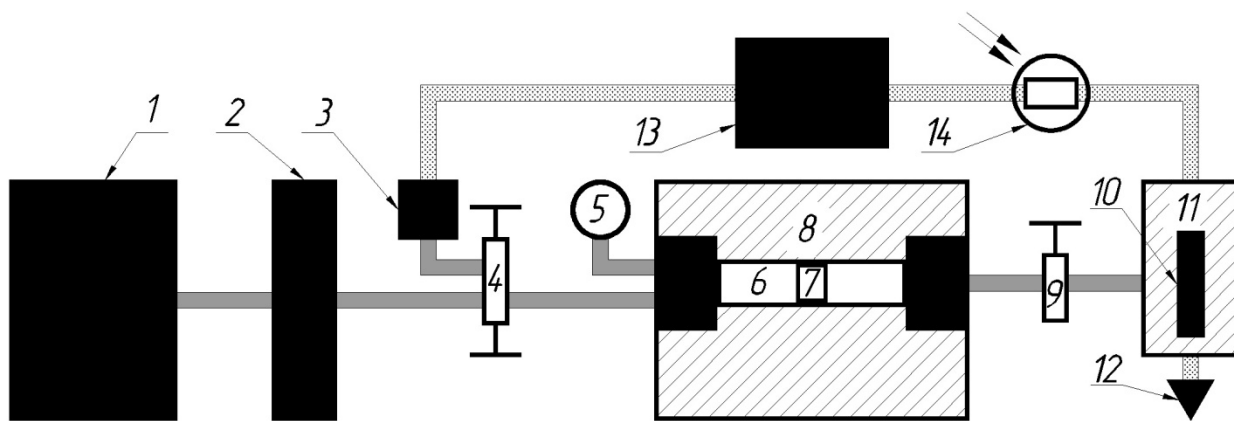
Латекс синтезировали методом миниэмульсионной полимеризации в лабораторных условиях. Был использован фторсодержащий мономер, с разветвленным фторалкильным радикалом, содержащим две CF_3 -группы (концевую и в качестве заместителя) и гетероатом – кислород, продукция фирмы «P&M-Invest» [4]. В качестве ПАВ было выбрано фторорганическое соединение этой же компании: калий перфтор(4-метил-3,6-диоксаоктан)сульфон [5]. Для образования микроэмульсии мономера проводили его диспергирование в воде в присутствии ПАВ с помощью ультразвука на установке УЗУ-0,25 в течение 2 минут. Традиционный способ обработки поверхности ткани включает пропитку ее фторполимерным латексом, отжим, сушку и термофиксацию при температуре $150\text{ }^\circ\text{C}$ [6].

При эмульсионной полимеризации может происходить образование побочного продукта реакции – коагулюма, который представляет собой слипшиеся частицы полимера, обычно подлежащие утилизации. Кроме того, относительно высокая температура и время термообработки волокнистого материала заставляют искать альтернативные способы модифицирования, одним из которых может быть использование флюидной технологии, основанной на использовании сверхкритического диоксида углерода (СК CO_2) в качестве растворителя. Преимущества данного метода в том, что CO_2 не горючий, не токсичный, относительно инертен в химических процессах, переходит в сверхкритическое состояние при довольно низких параметрах процесса (давление $72,835\text{ атм.}$, температура $31,1\text{ }^\circ\text{C}$). Кроме того, отсутствует необходимость в очистке ткани от растворителя (диоксида углерода), так как при снижении температуры или давления он возвращается в газообразное состояние [7].

Таким образом, актуальным является сравнительный анализ эффективности придания волокнистому материалу масло-, водоотталкивающих свойств методами пропитки и обработки в среде сверхкритического CO_2 .

В качестве волокнистого материала была выбрана вязкая ткань. При обработке материала в среде сверхкритического диоксида углерода модификатором является не сам латекс, а полимер, составляющий его основу. Для определения смачиваемости модифицированного материала применяли капельный метод, основанный на использовании тестовых жидкостей: смеси изопропилового спирта с водой – гидрофобные свойства [8] и вазелинового масла с гептаном – олеофобные свойства по ГОСТ 11209-2014 (ААТСС Test Method 118-2007). Также определяли стойкость к поверхностному смачиванию (испытание разбрызгиванием) по ГОСТ Р ИСО 4920-2014 (ААТСС Test Method 22-2005).

Для нахождения области растворимости фторполимера в среде СК CO_2 необходимо построить фазовую диаграмму. Для этого в реактор высокого давления (10) установки, представленной на рис. 3, помещали навеску – $0,5\%$ полимера от массы CO_2 (18 мг), после чего реактор заполнялся жидким CO_2 и в нем повышалось давление до 600 атмосфер при помощи генератора высокого давления (2).



1 – баллон со сжиженным CO_2 ; 2 – генератор высокого давления; 3 – регулятор давления после выхода из системы; 4 – выпускной клапан высокого давления; 5 – манометр; 6 – реактор высокого давления с поршнем; 7 – поршень; 8 – термостат; 9 – соединительный клапан высокого давления; 10 – сапфировый реактор высокого давления; 11 – термостат; 12 – светодиод; 13 – ПК; 14 – фоторезистор.

Рисунок 3 – Схема экспериментальной установки для исследования фазового поведения материалов под воздействием СК CO_2

После этого кювету закрывали и помещали в термостат (11) при температуре в 30°C . Реактор выдерживали в термостате до наступления термодинамического равновесия 40 минут. После его достижения происходит медленная декомпрессия реактора со скоростью $0,5 \text{ бар/с}$ для нахождения значений, соответствующих фазовому расслоению в системе. Давление фазового разделения смеси (полимер- CO_2) определялось визуально по характерному помутнению, наблюдаемому в оптической кювете.

В процессе эксперимента можно наблюдать процесс фазового разделения, который лежит в некотором диапазоне давлений, соответствующих началу и концу разделения. При снижении давления до 120 атмосфер при температуре 30°C происходит начало расслоения, фиксируемое в оптической кювете. Фазовую диаграмму системы, показанную на рис. 4, получали посредством измерения точек помутнения в реакторе высокого давления (10), оборудованном сапфировыми стеклами. При медленном снижении давления отмечается момент потери прозрачности системы вследствие фазового расслоения и формирования частиц жидкой фазы.

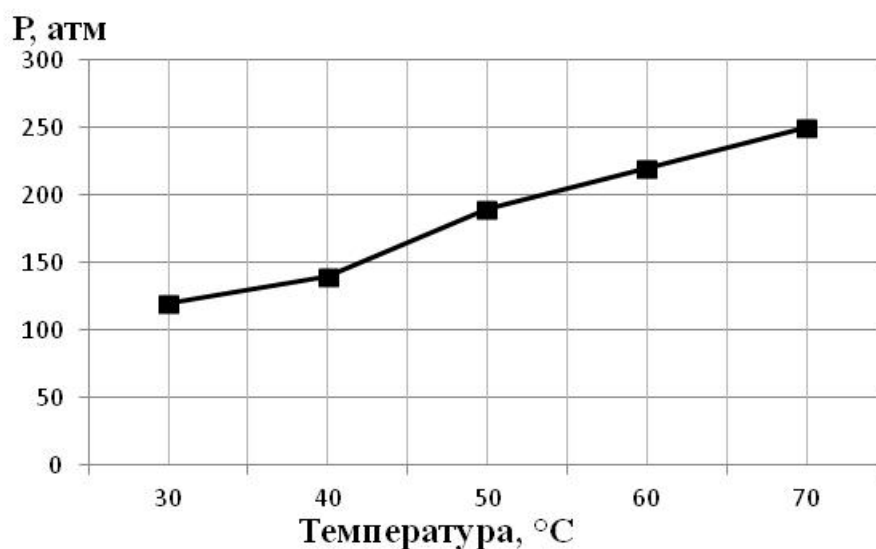


Рисунок 4 – Фазовая диаграмма системы фторполимер- CO_2

Процесс повторяли при 40°C, 50°C, 60°C и 70°C, после чего строили фазовую диаграмму, которая имеет вид, типичный для систем полимер–сверхкритический CO₂ [9]. Увеличение температуры при фиксированном давлении приводит к расширению системы и снижению ее плотности, молекулы CO₂ покидают полимерные клубки, что сопровождается ростом энтропии. Из фазовой диаграммы видно, что полимер хорошо растворяется, так как при каждом значении температуры это происходит при низких давлениях, поэтому данный метод можно использовать для модифицирования волокнистых материалов.

Для этого полимер нанесли на вязкую ткань в количестве 2% (230 мг) от ее массы, и поместили в сапфировый реактор. После герметизации в него закачивали CO₂ до давления 300 атм. Выдерживали автоклав 3 ч при температуре 50°C, после чего проводили медленную декомпрессию (около 5 атм./мин.) [9]. В процессе декомпрессии плотность CO₂ снижалась, что сопровождалось потерей растворимости полимера и осаждением его на поверхность вязкой ткани. В результате обработки материал приобрел новые свойства.

Образец вязкой ткани, обработанный полимером в среде СК CO₂, показал результат при испытании методом разбрызгивания - ИСО 2 (или ААТСС 70), т.е. частичное смачивание лицевой стороны образца за пределами точек разбрызгивания. Сравнение гидро-, олеофобных показателей ткани, модифицированной методом пропитки и обработки в среде СК CO₂, представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость гидро-, олеофобных свойств модифицированной вязкой ткани от способа модифицирования

| Способ модифицирования: | Водоотталкивание, балл | Маслоотталкивание, усл.ед. | Поверхностное натяжение, мН/м |
|--------------------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Пропитка | 3 | 100 | 24,9 |
| Обработка в среде СК CO ₂ | 6-7 | 90–100 | 24 |

Способы измерения гидро-, олеофобных свойств методами пропитки [8] и обработки в среде СК CO₂ (ААТСС Test Method 193-2007, 118-2007) различаются разными концентрациями изопропанола и воды и соотношениями гептана к вазелиновому маслу. Для приведения к единым показателям результаты, измеренные по ААТСС, с помощью поверхностной энергии переведены в значения, полученные по [8]. Как видно из табл. 1, обработка в среде СК CO₂, незначительно, на 10 усл.ед., снизила уровень маслоотталкивающих свойств вязкой ткани, при этом водоотталкивающие свойства увеличились более, чем в 2 раза. Данный эффект объясняется тем, что в составе поверхностного слоя отсутствует ПАВ, который повышает смачиваемость водой, а также тем, что благодаря малым значениям вязкости и поверхностного натяжения CO₂ происходит проникновение растворенного полимера в поверхностные поры и дефекты, создавая при этом максимально однородные и бездефектные покрытия, повторяющие шероховатый микрорельеф тканевой подложки. Поэтому использование «зеленой» технологии, основанной на применении в качестве растворителя модифицирующего агента сверхкритического диоксида углерода, является перспективным направлением и требует дальнейшего изучения и развития.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках внутривузовского конкурса научных проектов РГУ им. Косыгина 2019 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разбродин А.В. Вступительное слово президента Союзлегпрома // Сборник докладов «Наука - текстильному производству». – 2017. – С.10-11.
2. Питтман А. Поверхностные свойства фторполимеров // В кн. Фторполимеры / под ред. И.Л. Кнунянца, В.А. Пономаренко.- М.: Мир, 1975. - С. 340-364.

3. Слёткина Л.С. и др. Использование новых фторсодержащих сополимеров для получения волокон с пониженной смачиваемостью // Химические волокна. – 1997. – №2. – С. 35-37.

4. Чапурина М.А. Синтез и использование для модифицирования химических волокон новых фторсодержащих полимеров: дис...канд. хим. наук: 02.00.06/ Чапурина Маргарита Александровна.- М., 2007.- 144 с.

5. Редина Л.В., Гореславец Е. Ю. Получение новых типов фторполимерных латексов // Вестник СПГУТД. Серия 1. – 2016.- №3. – С. 100-102.

6. Еремкин Н.В., Козуб Д.А., Редина Л.В. Математическое моделирование процесса модифицирования волокнистых материалов композициями фторполимерный латекс – антипирен // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности: сборник материалов Международной научной студенческой конференции. Часть 1. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2018. – С. 246-249.

7. Никитин Л. Н. и др. Новые подходы к получению фторполимерных материалов. Сверхкритический диоксид углерода как активная среда для химических процессов с участием фторполимеров // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2008. – т. 52, № 3. – С. 56-65.

8. Пат. 4147851 (США). МКИ2 С 08 F 220/24 F. Fluorine-containing oil- and water-repellant copolymers / Raynolds S. заявл. 13.06.78; опубл. 3.04.79.

9. Казарян П. С. и др. Омнифобные покрытия на основе сополимеров винилпивалата и перфторгексилэтилметакрилата, получаемые в сверхкритическом диоксиде углерода // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2019. – т. 61, № 2. – С.134-138. doi 10.1134/S2308112019020056.

УДК 66.011

**ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЕ ЭКСТРАГИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ
ELECTRIC DISCHARGE EXTRACTION OF TECHNOLOGICAL POLLUTANTS FROM
COTTON FABRICS**

Мария Константиновна Кошелева*, Валерий Тимофеевич Казуб,
Марина Зиевна Цинцадзе***

Maria K. Kosheleva*, Valeriy T. Kazub, Marina Z. Tsintsadze***

**Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow*

***Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал Волгоградского
государственного медицинского университета, Россия, Пятигорск
Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute, a branch of the Volgograd State Medical
University, Russia, Pyatigorsk
(e-mail: otxpaxt@yandex.ru, bukva46@mail.ru, marinatsin@mail.ru)*

Аннотация: в работе на основании экспериментальных исследований показано, что электрические разряды интенсифицируют массообмен как в первом, так и во втором периодах процесса промывки. Определены кинетические коэффициенты массоотдачи и массопроводности в процессе промывки типовой хлопчатобумажной ткани после мерсеризации. Полученные коэффициенты массоотдачи и массопроводности могут использоваться при кинетических расчётах процесса экстрагирования технологических загрязнений из хлопчатобумажных материалов.

Abstract: based on experimental studies, it is shown that electric discharges intensify mass transfer both in the first and in the second periods of the washing process. Kinetic coefficients of mass transfer and mass conductivity in the process of washing typical cotton fabric after mercerization are determined. The obtained mass transfer and mass conductivity coefficients can be used in kinetic calculations of the process of extracting technological contaminants from cotton materials.

Ключевые слова: экстрагирование, электрические разряды, кинетика промывки, коэффициенты массоотдачи и массопроводности

Keywords: extraction, electrical discharges, washing kinetics, mass transfer and mass conductivity coefficients

Целью работы является изучение и количественная оценка влияния электрических разрядов в жидкости на эффективность процесса промывки хлопчатобумажной ткани от щёлочи, в том числе и на техноферную безопасность процесса.

В ряде работ показано, что воздействие электрических разрядов позволяет интенсифицировать процессы экстрагирования различных веществ из растительного сырья [2-4]. Исследованиями в области повышения эффективности процесса экстрагирования целевых компонентов из растительного сырья с использованием оригинальной электроразрядной установки, занимается кафедра физики Пятигорского медико-фармацевтического института (филиал ВолГМУ) под руководством профессора В.Т. Казуба.

Процесс промывки, являясь одним из самых энерго- и ресурсоемких процессов химической технологии отделки текстильных материалов, сопровождает практически каждый этап технологических операций отделки тканей [1, 7].

Основными недостатками процесса промывки являются: ресурсоёмкость, в том числе большой расход чистой промывной воды и химических реагентов, большое количество сточных вод, энергоёмкость, значительная продолжительность (для многих материалов и видов технологического загрязнения), что делает актуальной задачу повышения эффективности процесса за счёт его интенсификации.

Использование физических полей с целью интенсификации промывки текстильных материалов может использоваться в случаях внутренней или смешанной задачи, что имеет место при промывке волокнистых материалов. Важное место среди этих методов занимает интенсификация с помощью ультразвукового воздействия [1,7].

Интенсификация процесса промывки текстильных материалов с помощью электрических разрядов представляет интерес для изучения.

Объектами исследования в работе являлись: хлопчатобумажная ткань с поверхностной плотностью $M = 0,165 \text{ кг/м}^2$ с толщиной $2R = 0,00091 \text{ м}$ (бязь) и хлопчатобумажная ткань с поверхностной плотностью $M = 0,340 \text{ кг/м}^2$ с толщиной $2R = 0,00224 \text{ м}$ (молескин). Далее приводятся результаты для ткани бязь.

Экспериментальные исследования проводились в лабораториях физики Пятигорского медико-фармацевтического института – филиал ГБОУ ВПО ВолГМУ и в лаборатории общей химической технологии кафедры промышленной экологии и безопасности РГУ имени А.Н. Косыгина.

Для инициирования электрического разряда в водных промывных растворах, обладающих достаточно высокой проводимостью, использовался импульс высокого напряжения с коротким фронтом и ограниченной длительностью. Разработанный и изготовленный в Пятигорском медико-фармацевтическом институте высоковольтный генератор позволял получать импульс напряжения амплитудой до 50 кВ с фронтом $t_{\phi} = 0,1 \text{ мкс}$ и длительностью импульса $t_i = 0,8 \text{ мкс}$ [2,5].

Промывка хлопчатобумажной ткани в опытах осуществлялась от гидроксида натрия после мерсеризации ткани. В ходе экспериментальных исследований концентрация гидроксида натрия в ткани определялась методом обратного титрования.

Эффективность промывки оценивалась по степени промывки, которая рассчитывалась по формуле 1:

$$\eta = \frac{(C_0 - C_i)}{C_0} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где C_0 – начальная концентрация гидроксида натрия в ткани, г/кг; C_i – текущая концентрация гидроксида натрия в ткани, г/кг.

На рисунке 1 представлена зависимость степени промывки ткани от гидроксида натрия без использования интенсификатора (нижняя кривая) и с использованием в качестве интенсификатора импульсного электрического разряда (верхняя кривая).

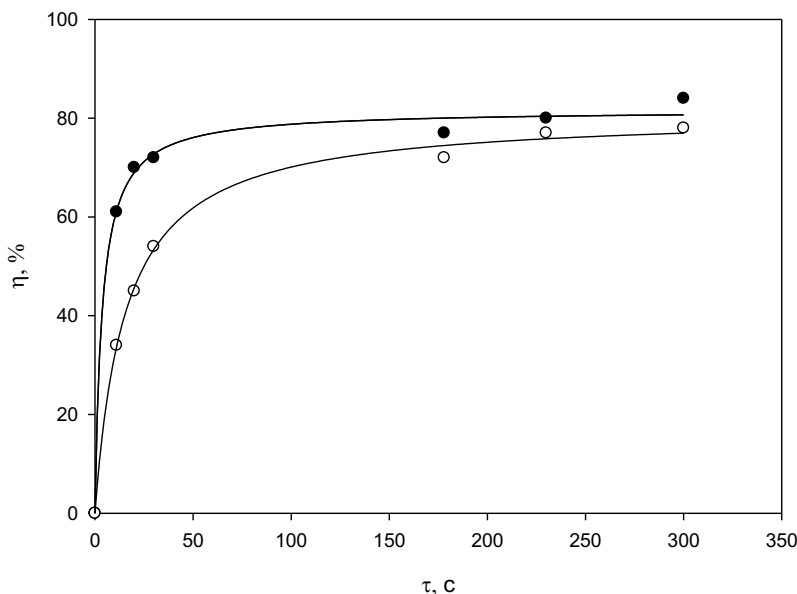


Рисунок 1 - Кинетика изменения степени промывки мерсеризованной хлопчатобумажной ткани от щёлочи

На кафедре материаловедения и товарной экспертизы РГУ им. А. Н. Косыгина были проведены испытания основных прочностных характеристик исследованных тканей, которые показали, что все показатели ткани после электроразрядной промывки соответствуют требованиям ГОСТ [6].

Количественная оценка повышения эффективности процесса промывки необходима, поскольку на её основе возможны: расчёт повышения производительности промывного оборудования, оценка энергоресурсоэффективности процесса, оценка повышения его экологической безопасности (за счёт снижения при электроразрядной интенсификации количества и загрязнённости химическими реагентами сточных вод).

В большинстве работ оценка эффективности использования различных способов интенсификации, в частности, использования ультразвуковых колебаний, магнитного поля и др. осуществляется по сокращению продолжительности процесса промывки до достижения требуемой по ГОСТ остаточной концентрации технологического загрязнения в ткани, что не всегда возможно [1, 7].

В данной работе кинетические коэффициенты определяли на основе полученных экспериментальных кривых кинетики промывки.

Расчёт кинетических коэффициентов проводился с использованием модифицированного зонального метода, предложенного в [8].

Результаты расчётов показывают, что коэффициент массоотдачи при промывке с выбранным интенсификатором возрастает в 1,85 раза. Коэффициенты массопроводности при промывке ткани имеют порядок 10^{-10} , что согласуется по порядку величины со значениями этого коэффициента при экстрагировании целевых компонентов из твердой фазы [2-5, 7, 8].

С уменьшением концентрации загрязнений значение коэффициента массопроводности несколько снижается. Это объясняется тем, что в конце процесса экстрагируются вещества, более прочно связанные со структурой материала [7, 8]. При промывке с интенсификатором коэффициент массопроводности во всех концентрационных зонах больше, чем без него (примерно в 1,5 раза).

Возрастание всех кинетических коэффициентов указывает на то, что электрические разряды интенсифицируют не только внешний, но и внутренний массоперенос. Последнее объясняется, вероятно, тем, что кавитационные явления и турбулентные пульсации жидкости, порождаемые каналом электрического разряда в жидкости, проникают внутрь макропор промываемой ткани, облегчая внутренний массоперенос [2, 4, 5]. При этом не только сокращается продолжительность процесса, но и уменьшается расход электроэнергии и материальных ресурсов, в частности возможно снижение расхода поверхностно-активных веществ в технологическом растворе, а, следовательно, их количества в сточных водах.

Таким образом, проведена оценка эффективности воздействия электрических разрядов в жидкости на кинетику процесса промывки хлопчатобумажной ткани после мерсеризации по изменению кинетических коэффициентов массоотдачи и массопроводности. Кинетические коэффициенты определены на основе полученных экспериментальных кривых кинетики промывки. Значения кинетических коэффициентов, полученные для типовой хлопчатобумажной ткани, могут быть использованы для анализа и кинетического расчета процесса промывки хлопчатобумажных тканей этой группы от гидроксида натрия.

Экспериментальные результаты, полученные в работе, анализ литературных данных, мнение специалистов по электроразрядному экстрагированию показывают, что использование электрических разрядов в жидкости для интенсификации процесса промывки может быть рекомендовано для практического использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сажин Б.С., Кошелева М.К., Сажина М.Б. Процессы сушки и промывки текстильных материалов // под ред. проф. Б.С. Сажина: Монография. - М.: ФГБОУ ВПО "МГУДТ", 2013 - 301 с.
2. Казуб В.Т. Кинетика и основы аппаратного оформления процессов электроразрядного экстрагирования биологически активных соединений: дисс. на соиск. уч. степ. доктора. техн. наук. – Тамбов: 2002.
3. Кошкарлова А.Г. Интенсификация процессов экстрагирования целевых компонентов из растительного сырья импульсным электрическим полем высокой напряженности: дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Тамбов: 2018.
4. Патент 2692375 Российская Федерация. Устройство для получения экстракта из софоры японской / В.Т. Казуб [и др.] (РФ - №2692375; заявл. 21.06.2018; опубл. 24.06.2019, БЮЛ. 18).
5. Борисов А.Г. Электроразрядное экстрагирование целевых компонентов из растительного сырья: дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – М.: 2006.
6. Шустов Ю.С. Текстильное материаловедение: лабораторный практикум: учеб. пособие / Ю.С. Шустов, С.М. Кирюхин, А.Ф. Давыдов [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 341 с. – (Высшее образование: Бакалавриат).
7. Процессы и аппараты текстильных технологий в примерах, лабораторных работах и тестах : учеб. пособие / М.К. Кошелева. — М. : ИНФРА-М, 2019. — 321 с. — (Высшее образование: Бакалавриат).
8. Рудобашта С. П., Кошелева М. К. Определение коэффициентов массоотдачи и массопроводности из кривых кинетики // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2015, № 6, С. 175–180.

УДК 685.34.08

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ НИЗА ОБУВИ, ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА
RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES OF PRODUCTION OF BOTTOM SHOE DETAILS, BASED ON THE USE OF WASTE PRODUCTION**

**Анастасия Николаевна Радюк, Александр Николаевич Буркин
Anastasia N. Radyuk, Alexander N. Burkin**

*Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь, г. Витебск
Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus, Vitebsk
(e-mail: ana.r.13@mail.ru, a.burkin@tut.by)*

Аннотация: Рассмотрена технология производства деталей низа обуви на основе использования отходов производства с добавлением в их состав ингредиентов, позволяющих получить материалы, традиционно применяемые для низа обуви и снижающие их себестоимость.

Abstract: The technology for production of footwear bottom details on the basis of production wastes with addition into their structure of ingredients allowing to receive the materials traditionally applied for the footwear bottom and reducing their prime cost is considered.

Ключевые слова: отходы производства, технология, свойства.

Keywords: production waste, technology, properties.

В настоящее время одной из приоритетных задач на мировом уровне является проблема утилизации отходов с целью обеспечения экологической безопасности населения всех стран. Поэтому большое внимание уделяется созданию технологий, позволяющих вторично перерабатывать различные виды полимерных материалов. При этом одним из важнейших показателей эффективности работы предприятия выступает такой фактор экономики как ресурсосбережение.

Ежегодно в Республике Беларусь образуется около 50 млн. т отходов производства [1]. Это связано с тем, что до сих пор ни в какой отрасли производства не достигается преобразования всех используемых материальных ресурсов в необходимую продукцию. Производство обуви не является исключением. При этом неизбежно образуются различные виды отходов [2]. Одними из самых распространенных отходов обувной промышленности являются отходы химических производств и производств, связанных с ними, они составляют около 30 % отходов производства обуви. Среди них наибольший удельный вес имеют отходы полимерных материалов для низа обуви – около 20 %, а среди них 15 % составляют пенополиуретановые отходы: выпрессовки, литники и бракованные подошвы. Решение этой проблемы имеет важное значение, так как эти виды отходов запрещено вывозить на полигон для захоронения. Тем не менее отходы могут быть использованы в качестве вторичного сырья путем переработки их с использованием современных технологий.

Технологии переработки и утилизации пенополиуретановых отходов используются за рубежом. Наибольшее распространение получили химические методы, основанные на аминоллизе, гидролизе и деструктивном растворении с целью получения исходных компонентов для их повторного использования при синтезе пенополиуретанов, а также диспергирование полимерных материалов с целью использования полученных частиц в исходной полимерной композиции. Однако, данные методы требуют достаточно высокой организации производства, сложного аппаратного оформления, использования больших объемов перерабатываемых отходов, обеспечивающих эффективность технологических процессов. Поэтому, когда речь идет о переработке 20-50 тонн в год, а именно такой объем отходов каждого вида образуется на среднем обувном предприятии, наиболее оптимальным

является метод переработки отходов термомеханическим способом, при котором отходы, содержащие или состоящие из полимеров, являются связующими, а иные отходы вводятся в композицию в качестве наполнителя [2, 3].

Сотрудниками Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» (УО «ВГТУ») разработаны технологии получения из отходов пенополиуретанов термопластичного материала, пригодного для переработки методом литья, подошв для домашней обуви путем предварительной экструзии на шнековом экструдере и последующего окончательного формования материала в межвалковом зазоре листовальных вальцов, изделия «вкладыш на низ обуви» путем переработки пенополиуретановых отходов и отходов верхнего кожевенного сырья. Для получения данных изделий были разработаны и изготовлены шнековые экструдеры различных конструкций [2, 4-7].

Разработанные технологии позволяют осуществить переработку отходов большинства полимерных материалов. Общая схема подобных технологий включает: сортировку и очистку, измельчение, подготовку полимерной композиции, переработку в изделие. На основе данной схемы была разработана оптимальная технология получения полиуретановых композиций для низа обуви, подробно приведенная в [8] и включающая в себя следующие этапы: сортировка, измельчение, смешивание, гранулирование и литье.

При использовании отходов в качестве ресурсов не должно быть ухудшения качества продукции и нарушения устоявшегося технологического цикла. Наибольший экономический эффект при этом достигается в том случае, если получаемая продукция соответствует профилю предприятия и используется в технологическом процессе производства обуви в качестве сырья или деталей. Основные операции технологического процесса изготовления деталей низа обуви из отходов полиуретана и их краткая характеристика представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные операции технологического процесса изготовления деталей низа обуви из отходов полиуретана

| Операция | Характеристика |
|---|---|
| Подготовка (сортировка) отходов | Отходы сортируются по цветам, в отходах не должно быть посторонних материалов и включений, отходы должны быть сухими. |
| Дробление отходов | Отсортированные отходы полиуретана измельчаются на дробилке роторно-ножевого типа. Возможно использование дробилок других типов. Оптимальные размеры частиц измельченных отходов до 7×7×7 мм. |
| Приготовление композита | Заключается в механическом смешении компонентов и их совмещении друг с другом. Измельченные отходы полиуретана смешивают с другими ингредиентами в соответствии с рецептурным составом получаемых композиций. |
| Термомеханическая обработка композита в шнековом экструдере | Компоненты загружаются в бункер шнекового экструдера. В бункере имеется вращающий ворошитель, который дополнительно перемешивает компоненты и подаёт компоненты на шнек. В экструдере происходит процесс термомеханической деструкции полиуретана. После прохождения зоны гомогенизации композиция выходит из экструдера. Температура в экструдере должна быть 140-185 °С. Далее идёт охлаждение композита. |
| Дробление переработанного композита | Переработанный композит измельчается в дробилке роторно-ножевого типа. |
| Вторичная термомеханическая обработка композита | Затем идёт повторная переработка в экструдере с последующим охлаждением композита. |

| Операция | Характеристика |
|---|--|
| в шнековом экструдере | |
| Вторичное дробление переработанного композита | Повторное измельчение композита производится аналогично первому. Размер частиц от 3×3×3 мм до 7×7×7 мм. |
| Литьё подошв на литьевых машинах | Измельчённый композит поступает на литьевые агрегаты. Температурные режимы литья подошв зависят от текучести расплавов композиций, геометрических размеров подошв и конструкции литьевых форм. Для литья подошв использовали следующие режимы: температура 150-180 °С, давление впрыска 40-60 МПа, время впрыска 15-40 с, время охлаждения 50-120 с. |
| Обрезка выпрессовок | Происходит обрезка выпрессовок ровно, без выхватов. |
| Контроль качества подошв. Сортировка и упаковка | Подошвы проверяются по качеству. Упаковываются одного фасона и размера в картонные коробки. |

В соответствии с операциями технологического процесса, приведенными в таблице 1, получают различные материалы для низа обуви: монолитные, пористые и волокнисто-наполненные. Образцы полученных материалов представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Материалы для низа обуви (подошвы)

Монолитные материалы для низа обуви являются основой для получения пористых и волокнисто-наполненных материалов. Пористые подошвы получают методом литья под давлением, которому подвергают разработанные композиты, содержащие (согласно оригинальным рецептурным составам) полиуретановые отходы обувного производства и модификаторы. Получение полимерных материалов для подошв типа «кожволон» с волокнистыми наполнителями предполагает использование отходов коврового производства и мелкодисперсных полимерных наполнителей из отходов.

Оценку качества полученных материалов проводили путем отбора проб по ГОСТ-7926-75 «Резина для низа обуви. Методы испытаний» с целью дальнейшего определения физико-механических и эксплуатационных показателей в соответствии с ГОСТ на методы испытания. Были определены твердость (ГОСТ 263-75 «Резина. Метод определения твердости по Шору А»), плотность (ГОСТ 267-73 «Резина. Методы определения плотности»), средняя толщина (измерялась толщиномером по ГОСТ 11358-89 «Толщиномеры и стенкомеры индикаторные с ценой деления 0,01 и 0,1 мм. Технические условия»), условная прочность при растяжении и относительное удлинение при разрыве (ГОСТ 270-75 «Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении»), сопротивление истиранию (ГОСТ 426-77 «Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении»), сопротивление многократному изгибу (ГОСТ ISO 17707–2015. Обувь. Методы испытаний подошв. Сопротивление многократному изгибу).

В результате проведенных испытаний выявлено, что материалы с использованием отходов пенополиуретанов вполне соответствуют свойствам материалов, применяемых для низа обуви – монолитным резинам, пористым резинам и материалам типа «кожволон».

При этом использование отходов пенополиуретанов для получения материалов для низа обуви, напоминающих традиционно используемые, способствует снижению стоимости отечественной обуви за счет снижения на 0,2 \$ себестоимости пары подошв.

Выводы

Проанализированы технологии и методы переработки полимерных отходов; определены основные операции технологического процесса получения полиуретановых композиций для низа обуви; представлены образцы полученных материалов из отходов пенополиуретанов, соответствующих по свойствам материалам, применяемым для низа обуви; выявлено, что данные материалы могут быть использованы для деталей низа обуви; приведен экономический эффект за счет использования ресурсосберегающей технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 10.04.2019.
2. Буркин А. Н. [и др.]. Обувные материалы из отходов пенополиуретанов. Витебск: УО «ВГТУ», 2001. 173 с.
3. Панова Л. Г. Наполнители для полимерных композиционных материалов. Саратов: СГТУ, 2010. 72 с.
4. Экструдер для переработки отходов пенополиуретана: пат. U 170 Республика Беларусь: МПК: C08G 18/00. А. Н. Буркин, В. В. Савицкий, К. С. Матвеев, О. В. Стайнов, А. К. Новиков; заявитель и патентообладатель УО «Витебский государственный технологический университет»: – № 19990140; заявл. 1999.12.28; опубл. 2000.09.30.
5. Способ переработки отходов пенополиуретана: пат. 6172 С2 Республика Беларусь, МПК С 08 J 5/06, 11/12; Буркин А. Н., Матвеев К. С.; заявитель и патентообладатель ВГТУ. – № а 19991172; заявл. 28.12.99; опубл. 30.06.04, Бюл. № 2.
6. Буркин А. Н., Смелков В. К., Матвеев К. С. Установка для переработки отходов пенополиуретанов // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы науки, техники и экономики легкой промышленности». Москва, 2000. С. 94.
7. Экструдер для термомеханического рециклинга отходов интегральных полиуретанов: пат. 5320 U Республика Беларусь, МПК С 08G 18/00 / Матвеев К. С., Новиков А. К., Пятов В. В., Бровко С. В., Матвеев А. К., Голубев А. Н.; заявитель и патентообладатель УО «ВГТУ». – № u 20080790; заявл. 23.10.2008; опубл. 30.06.2009, Бюл. № 3 (68).
8. Радюк А.Н., Буркин А.Н. Получение подошв из отходов пенополиуретанов с волокнистым наполнителем // Сборник научных статей международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности». Витебск, 2018. С. 266-269.

УДК 677.074

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА
IMPROVING THE EFFICIENCY OF TEXTILE MATERIALS DRYING USING
ULTRASOUND FOR INTENSIFICATION OF THE PROCESS**

Мария Константиновна Кошелева*, Владимир Николаевич Хмелёв,
Татьяна Александровна Новикова*, Роман Николаевич Голых**
Marya K. Kosheleva*, Vladimir N. Khmelev, Tatyana A. Novikova, Roman N. Golykh**

**Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
Kosygin Russian State University, Russia, Moscow
(e-mail: otxpaxt@yandex.ru)*

***Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова, Россия, Бийск
Biysk Technological Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University, Russia, Biysk
(e-mail: vnh@bti.secna.ru)*

Аннотация: Показана возможность повышения эффективности процесса сушки плоских текстильных материалов за счет ультразвукового воздействия. Установлено, что при интенсификации процесса сушки тканей наложением ультразвукового поля возможно снижение температуры со 100-120 °С до 60 °С. Проведена количественная оценка влияния ультразвукового поля на кинетические коэффициенты массоотдачи и массопроводности в процессе сушки.

Abstract: The possibility of increasing the efficiency of the drying process of various fabrics through ultrasonic influence is shown. It is shown that a significant decrease in the drying temperature is possible with the intensification of the process of drying fabrics by the method of applying an ultrasonic field (from 100-120 °C to 60 °C). A quantitative assessment of the effect of the ultrasonic field on the kinetic coefficients of mass transfer and mass conductivity in the process of drying fabrics was carried out.

Ключевые слова: текстильные плоские материалы, сушка, ультразвуковая интенсификация, массоотдача, массопроводность, кинетические коэффициенты

Keywords: flat textile materials, drying, ultrasonic intensification, mass transfer, mass conductivity, kinetic coefficients

Процесс сушки во многом определяет качество готового материала, а также основные энергетические затраты [1]. В химической технологии отделки текстильных материалов достаточно широко используется конвективный способ сушки, недостатками которого являются высокое энергопотребление при значительной продолжительности процесса, необходимость снижения производительности или проведения процесса в несколько стадий для достижения максимальной степени удаления влаги; невозможность сушки смесовых тканей при высоких температурах, снижение прочности и эластичности, вероятность усадки тканей из натуральных волокон, миграция красителей, печатной краски, аппретов из тканей при высоких температурах сушки [6].

Данная работа представляет результаты экспериментального и теоретического исследования процесса сушки плоских текстильных материалов. В работе для интенсификации процесса сушки тканей использовался способ наложения ультразвукового поля, которое позволяет существенно снизить температуру сушки [2,3].

Объектами сушки являлись ткани, различающиеся волокнистым составом, характером отделки и являющиеся типовыми представителями разных групп тканей, в том числе

шерстяные ткани с плотностью 635 г/м² и 400 г/м² и хлопчатобумажные ткани с плотностью 250 г/м² и 295 г/м² [3].

Для ультразвуковой интенсификации конвективной сушки использовался излучатель, имеющий высокий коэффициент полезного действия (до 50 %), способный в замкнутом объёме обеспечивать уровень звукового давления до 150 дБ при частоте колебаний около 20 кГц и температуре до 180 °С [2, 3, 5].

Исследования проводились на специально созданном в Бийском технологическом институте АлтГТУ им. И.И. Ползунова на лабораторном стенде [2, 3, 5]. Для обработки результатов исследований при определении эффективности сушки использовалось специальное программное обеспечение, позволяющее считывать и обрабатывать данные с электронных весов в процессе сушки. Данные считывались через COM-порт по интерфейсу RS-232 через промежутки времени длительностью 1 с. При построении зависимости учитывалось влияние «звукового ветра» на показания весов [2, 3, 5].

Скорость процесса сушки, в первую очередь, определяется свойствами самой ткани, в частности её волокнистым составом и плотностью. В первоначальных исследованиях определялась эффективность сушки для тканей различных плотностей и волокнистого состава.

Установлено, что ускорение акустической сушки плотных тканей можно получить, предположительно, путём многократного увеличения ультразвуковой (УЗ) энергии, достигающей ткани. Проведены исследования процесса сушки при УЗ воздействии без газового промежутка. Данные условия воздействия позволяют в 100...200 раз увеличить акустическую энергию, вводимую во влажный образец ткани [2, 3, 5].

На рис.1 приведены кинетические кривые сушки при наличии газового промежутка между излучателем и тканью (УЗ воздействие выключено) и отсутствии газового промежутка (УЗ воздействие выключено и УЗ воздействие включено) [2, 3, 5].

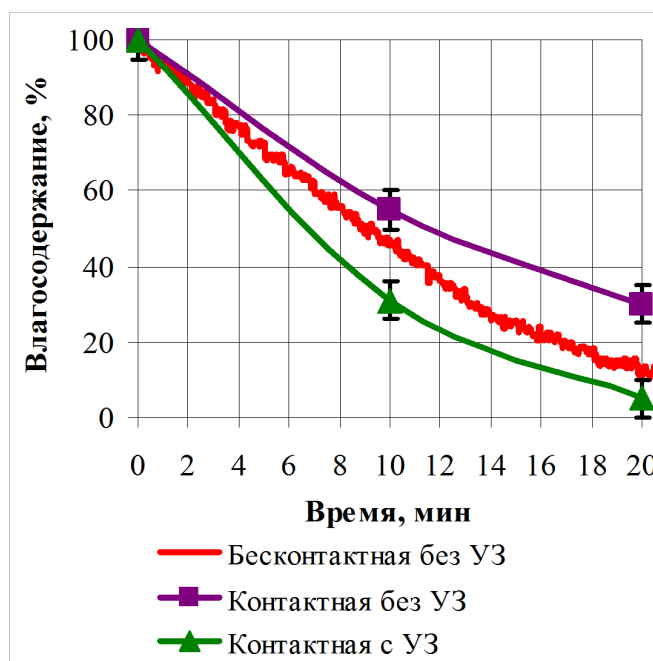


Рисунок 1 – Зависимости влагосодержания от времени при наличии газового промежутка между излучателем и тканью (УЗ воздействие выключено), отсутствии газового промежутка (УЗ воздействие выключено и УЗ воздействие включено)

В [4] разработан модифицированный метод определения коэффициента массоотдачи β_c и зависимости коэффициента массопроводности от влагосодержания материала по кинетической кривой процесса сушки, не требующий в последнем случае отсутствия

внешнего диффузионного сопротивления. Расчёт кинетических коэффициентов массоотдачи и массопроводности проводился с использованием данного метода.

В таблицах 1 и 2 приводятся значения рассчитанных кинетических коэффициентов.

Таблица 1 – Коэффициенты массоотдачи

| | Контактная с УЗВ | Контактная без УЗВ |
|--|-------------------------|---------------------------|
| β_c^* кг/((м ² с)(кг/кг)) | $0,643 \cdot 10^{-3}$ | $8,833 \cdot 10^{-5}$ |
| β_c м/с | $1,242 \cdot 10^{-6}$ | $1,705 \cdot 10^{-7}$ |

Таблица 2 – Коэффициенты массопроводности

| Номер концентрационной зоны | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|
| Контактная с УЗВ | $k_i \cdot 10^9$, м ² /с | 1,09 | 1,20 | 0,60 | 2,84 |
| Контактная без УЗВ | $k_i \cdot 10^9$, м ² /с | 0,42 | 0,44 | 0,50 | 0,42 |

Полученные коэффициенты массоотдачи и массопроводности могут быть использованы при кинетических расчётах процесса сушки.

Таким образом, показана возможность повышения эффективности процесса сушки плоских текстильных материалов за счет ультразвукового воздействия.

Показано, что при интенсификации процесса сушки тканей способом наложения ультразвукового поля возможно существенное снижение температуры процесса сушки.

Получены экспериментальные данные по кинетике процесса сушки текстильных материалов (с обоснованно выбранным способом интенсификации), необходимые для разработки сушилок и для инженерного расчета процесса сушки.

Проведена количественная оценка влияния ультразвукового поля на кинетические коэффициенты массоотдачи и массопроводности в процессе сушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mujumdar A.S. Handbook of Industrial Drying (Part 1). New York: Marcel Dekker, 1995.
2. Mariya K. Kosheleva, Roman N. Golykh, Tatyana A. Novikova, Roman S. Dorovskikh, Vladimir N. Khmelev, Andrey V. Shalunov Ultrasonic Drying of Textile Materials// 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, Erlagol, Altai Republic 29 June - 3 July, 2017, pp. 283-289.
3. Хмелев В.Н., Кошелева М.К., Доровских Р.С., Гольх Р.Н., Шалунов А.В., Нестеров В.А., Новикова Т.А. Ультразвуковая сушка текстильных материалов// Химическая технология. 2018. Т. 19. №4. С. 178-185.
4. Рудобашта С.П., Кошелева М.К. Определение коэффициентов массоотдачи и массопроводности из кривых кинетики // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2015. №6 (360). С. 175-180.
5. M. Kosheleva, V. Khmelev, T. Novikova, R. Golykh Improving the Efficiency of the Drying Process of Textile Materials in the Use of Ultrasound for Intensification// The Third Nordic Baltic Drying Conference, June 12 to 14, 2019, Saint Petersburg, Russia. P.36
6. Процессы и аппараты текстильных технологий в примерах, лабораторных работах и тестах: учеб. пособие / М.К. Кошелева. — М.: ИНФРА-М, 2019. — 321 с. — (Высшее образование: Бакалавриат).

УДК 66-5

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ SGT5-4000F С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ
УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА ПГУ-420 СЕРОВСКОЙ
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
MODERNIZATION OF SGT5-4000F GAS TURBINE WITH THE PURPOSE OF
INCREASING THE INSTALLED CAPACITY OF THE PGU-420 POWER UNIT OF
SEROVSKAYA HYDRO POWER PLANT**

**Николай Васильевич Иванов, Анатолий Иванович Чертков,
Владимир Иванович Гомболевский
Nikolay V. Ivanov, Anatoly I. Chertkov, Vladimir I. Gombolevsky**

*ОАО «Всероссийский дважды ордена трудового красного знамени теплотехнический
научно-исследовательский институт», Россия, Москва
All-russia thermal engineering institute, Russia, Moscow
(e-mail: ivanov-vti1@mail.ru)*

Аннотация: В работе приведены технические решения по модернизации газовой турбины SGT5-4000F для повышения установленной мощности энергоблока ПГУ-420 в целях энергосбережения и повышения экономической эффективности Серовской ГРЭС.

Abstract: The work presented technical solutions for the modernization of the gas turbine SGT5-4000F to increase the installed capacity of the PGU-420 power unit in order to save energy and increase the economic efficiency of Serovskaya hydro power plant.

Ключевые слова: Энергосбережение, гидроэлектростанция, газовая турбина, парогазовая установка.

Keywords: Energy saving, hydroelectric power station, gas turbine, combined-cycle plant.

Кардинальная экономия топливно-энергетических ресурсов в тепловой энергетике связана с переходом генерации электроэнергии и тепла на парогазовую технологию. Если энергоблоки тепловых электростанций (ТЭС) с традиционной паросиловой технологией имеют сегодня к.п.д. на уровне 35-37%, то современные парогазовые установки (ПГУ) достигают к.п.д. 55-58%. В энергетике России отмечается массовое строительство энергоблоков ПГУ мощностью 400-800МВт. Как известно экономичность ПГУ в решающей степени определяется тепловой эффективностью входящих в их состав газотурбинных установок (ГТУ). Сегодня мы используем современные ГТУ в основном иностранного производства единичной мощностью до 300 МВт с к.п.д. до 40%. Именно такая экономичность ГТУ позволяет достичь указанного к.п.д. ПГУ в целом.

Практика показала, что в реальных климатических условиях России без ущерба для надежности и безопасности работы оборудования путем ряда технических решений установленная мощность ГТУ в составе действующих ПГУ может быть повышена и вследствие этого номинальная мощность самой ПГУ может быть также существенно увеличена. Это дает дополнительные возможности по энергосбережению и росту доходов энергетических компаний за счет увеличения поставки мощности и электроэнергии. Работы в этом направлении уже проведены на ряде объектов. Ниже приведены результаты такого решения на примере ПГУ-420 Серовской ГРЭС.

Основное оборудование ПГУ-420 Серовской ГРЭС до модернизации. (Структура ПГУ: газотурбинная установка – котел утилизатор – паротурбинная установка).

Газотурбинная установка (ГТУ) фирмы «Siemens» включает в себя газовую турбину (ГТ) и вспомогательные системы, комплексное воздухоочистительное устройство (КВОУ), обеспечивающие надёжную и экономичную эксплуатацию во всех эксплуатационных

режимах. Газовая турбина модели SGT5-4000F состоит из следующих основных элементов: компрессора; направляющих аппаратов компрессора; кольцевой камеры сгорания; турбины; ротора дискового типа; аксиального выходного диффузора.

Основные номинальные показатели газотурбинной установки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные номинальные показатели газотурбинной установки

| Наименование показателя | Значение* |
|--|-----------|
| Электрическая мощность ГТ (брутто), МВт | 281,4 |
| Температура выхлопных газов, °С | 579,1 |
| Расход выхлопных газов, кг/с | 686,7 |
| Степень повышения давления в компрессоре | 17 |
| Частота вращения генератора, Гц | 50 |
| * Значения приведены при условиях ISO (температура 15 °С, давление 1013 мбар, влажность 60 %). | |

Паротурбинная установка (ПТ) включает в себя паровую турбину SST5-3000 производства фирмы "Siemens", конденсатор и вспомогательные системы.

Параметры пара перед стопорным клапаном цилиндра высокого давления (ВД): давление 11,99 Мпа, температура 558°С.

Параметры пара горячего промперегрева (ГПП): давление 2,99 МПА, температура 557°С.

Параметры пара перед стопорным клапаном цилиндра низкого давления (НД): давление 0,3766 МПА, температура 233°С.

Номинальная электрическая мощность 140 МВт.

Барабанный котёл-утилизатор (КУ) поставки ОАО "ЭМАльянс" горизонтального профиля с вертикальным расположением труб поверхностей нагрева, газоплотный, с естественной циркуляцией, с собственным несущим каркасом, предназначен для получения перегретого пара трёх давлений: высокого, среднего (СД), низкого и подогрева конденсата за счёт использования тепла горячих выхлопных газов ГТУ.

Гарантийные параметры КУ при нагрузке ГТ 100 %, температуре наружного воздуха 15 °С, относительной влажности 60% и атмосферном давлении 101 325 Па: расход пара ВД 75,164 кг/с; температура пара ВД 560 °С; давление пара на выходе из контура ВД (абсолютное) 12,5 Мпа; расход пара ГПП 88,005 кг/с; температура пара ГПП 560 °С; перепад давления в контуре промперегрева 1,12 бар; расход пара НД (включая 1,105 кг/с на собственные нужды энергоблока) 13,0 кг/с; температура пара НД 237,0 °С; давление пара на выходе из контура НД (абсолютное) 0,46 Мпа; аэродинамическое сопротивление котла 3780 Па.

Модернизация газовой турбины SGT5-4000F

Достоинствами данной турбины являются низкие эксплуатационные затраты на обслуживание и высокий КПД. Горелки на основе современных технологий обеспечивают низкий уровень вредных выбросов. Для поддержания конкурентоспособности и проверки технологий в процессе натурных испытаний и эксплуатации в конструкцию газовой турбины SGT5-4000F заводом-изготовителем постоянно предлагаются различного рода усовершенствования.

В таком направлении была проведена модернизация этой турбины с целью повышения установленной мощности.

Выполнены: замена 1-6 ступеней компрессора ГТ на модернизированные; замена 1-4 ступеней турбины на модернизированные; замена основных горелок на модернизированные; замена расходомера пилотного топливного газа; установка расходомера основного газа; модернизация вспомогательных систем ГТУ.

Основной объём технического перевооружения внутреннего контура газовой турбины представлен на рисунке 1 и в таблице 2.

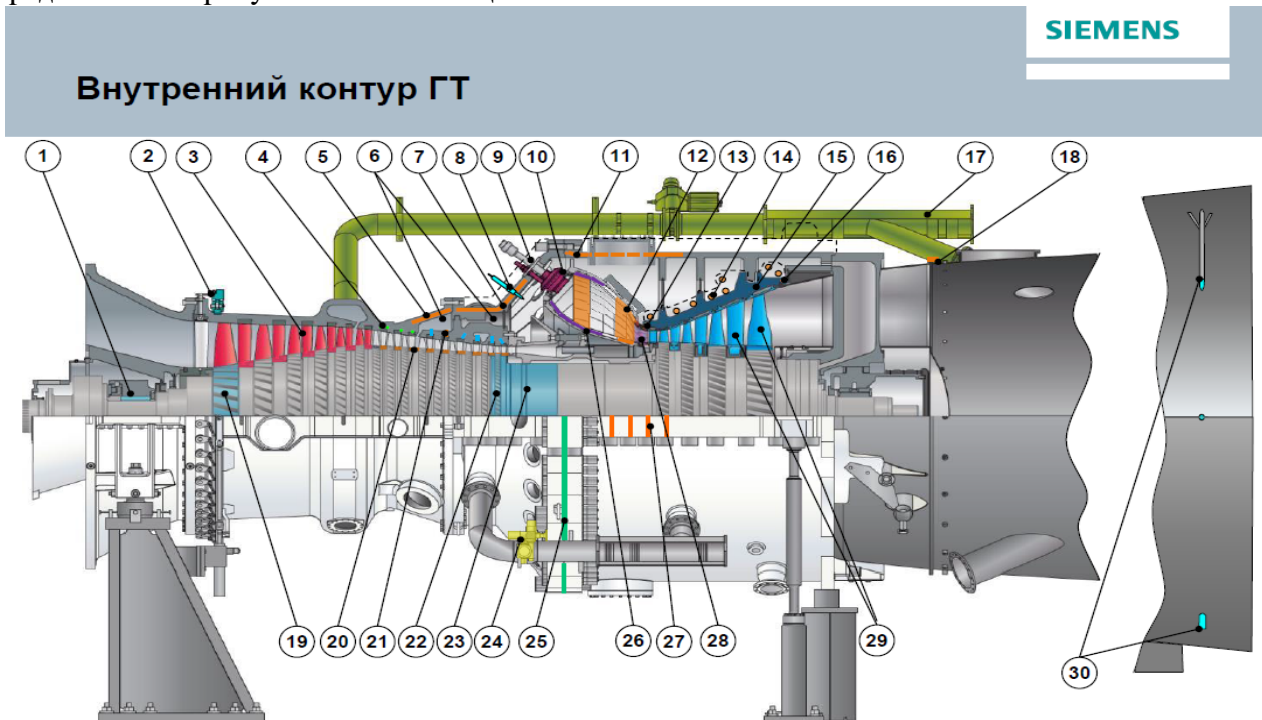


Рисунок 1 – Основной объём технического перевооружения внутреннего контура газовой турбины

Таблица 2

| № | Описание изменения | Эффект от модернизации |
|----|---|--|
| 1. | Расширение вкладыша подшипника компрессора | Увеличение работоспособности вследствие уменьшения нагрузки на подшипник |
| 2. | Приводной механизм входного направляющего аппарата | Изменение диапазона рабочих углов ВНА |
| 3. | Модернизация компрессора по типу CMF++ | Переработка воздушной части для повышения производительности |
| 4. | Усовершенствование обоймы лопаток корпуса компрессора | Снижение нагрузки в условиях повышенных температур компрессора |
| 5. | Уплотнение горизонтального разъема | Предотвращение утечки горячего воздуха в связи с повышенным перепадом давления |
| 6. | Регулятор охлаждающего воздуха турбины | Дополнение к существующей аппаратной защите турбины |
| 7. | Уплотнение горизонтального разъема | Предотвращение утечки горячего воздуха в связи с повышенным перепадом давления |
| 8. | Термопары TV2 | Новый регулятор ГТ для выбранного пакета модернизации |
| 9. | Улучшение работы регулятора устойчивости горения | Повышение устойчивости камеры сгорания |

| № | Описание изменения | Эффект от модернизации |
|-----|---|---|
| 10. | Уменьшение степени завихрения по программе модернизации горелок HR3+ модификация системы смешивания | Повышение устойчивости камеры сгорания |
| 11. | Модификация керамической термоплитки | Снижение расхода охлаждающего воздуха и уменьшение количества лома |
| 12. | Улучшение камеры сгорания/поверхности направляющего аппарата турбины | Продление срока службы рабочих сегментов |
| 13. | Высококачественные соединительные болты направляющего аппарата турбины | Устойчивость к высоким нагрузкам |
| 14. | Направляющий аппарат турбины с улучшенной системой охлаждающего воздуха | Улучшенная концепция охлаждения турбины для повышения производительности |
| 15. | Металлическое уплотнение | Улучшенная концепция металлического уплотнения направляющего аппарата турбины |
| 16. | Дополнительная линия продувки | Необходимое для запуска модернизированного компрессора условие |
| 17. | Улучшенная концепция болтового соединения и уплотнения диффузора | Увеличение работоспособности |
| 18. | Техпереворужение диска компрессора 1 ступени | Модификация проточной части для увеличения массового расхода |
| 19. | Улучшенный дизайн уплотнительной пластины | Двусторонняя сварка для повышения работоспособности |
| 20. | Высококачественные пальцы компрессора | Устойчивость к высоким нагрузкам |
| 21. | Высококачественный диск компрессора 15 ступени | Устойчивость к высоким температурам |
| 22. | Высококачественный рабочий диск 1 ступени | Устойчивость к высоким температурам |
| 23. | Высококачественный клапан охлаждающего воздуха | Устойчивость к высоким температурам |
| 24. | Керамическая замковая плитка | Снижение расхода охлаждающего воздуха для повышения производительности |
| 25. | Улучшение гибкости корпуса | Предотвращение утечки горячего воздуха в связи с повышенным перепадом давления |
| 26. | Новый дизайн металлических термопластин | Улучшенный дизайн термопластин для оптимизации потока и снижения расхода охлаждающего |
| 27. | Модернизация рабочих и направляющих лопаток турбины | Снижение расхода охлаждающего воздуха, оптимизация периодичности технического обслуживания и повышение производительности |
| 28. | Улучшенные термодары | Усовершенствованная концепция управления ГТ |
| 29. | Улучшенная изоляция горелок | Увеличение срока службы вследствие улучшения защиты кабелей |
| 30. | Экранирующая оболочка кабелей | Увеличение срока службы вследствие улучшения защиты кабелей |

После модернизации электрическая мощность ГТУ возрасла на 18,7 МВт и составила 298,7 МВт, температура газов за ГТУ увеличится на 9,0 °С и составит 588,1 °С, расход выхлопных газов увеличится на 35,3 кг/с по результатам расчётов фирмы «Siemens».

Повышение параметров пара высокого, среднего и низкого давлений после модернизации ГТУ не повлияло на работоспособность и надёжность паровой турбины энергоблока ПГУ, в связи с чем модернизация элементов паровой турбины не требуется. Прирост мощности паровой турбины составил 9,3 МВт.

Суммарно мощность ПГУ была повышена на 28,0 МВт.

УДК 533.924

**ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ
ПОВЕРХНОСТИ КАТАЛИЗАТОРОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ АКТИВНОСТИ
THE USE OF LOW-TEMPERATURE PLASMA FOR THE SURFACE TREATMENT OF
THE CATALYSTS WITH THE AIM OF INCREASING THEIR ACTIVITY**

**Владимир Борисович Павлов*, Рустем Рифович Даминев*, Сергей Петрович Иванов*,
Лилия Зайнулловна Касьянова*, Екатерина Анатольевна Шулаева*,
Елена Александровна Кралькина**, Константин Викторович Вавилин**,
Илья Игоревич Задириев****

**Vladimir B. Pavlov*, Rustem R. Daminev*, Sergei P. Ivanov*, Liliya Z. Kasyanova*,
Ekaterina A. Shulaeva*, Elena A. Kralkina**, Konstantin V. Vavilin**, Ilya I. Zadiriev****

**Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г.
Стерлитамаке, Россия, Стерлитамак*

**Branch of the Ufa State Petroleum Technological University in Sterlitamak. Russia, Sterlitamak
(e-mail: vb_pavlov@mail.ru)*

***Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Россия, Москва
**Lomonosov Moscow State University. Russia, Moscow*

(e-mail: ekralkina@mail.ru)

Аннотация: В статье представлены результаты исследования по использованию низкотемпературной плазмы для обработки поверхности некоторых видов катализаторов. Показано, что характеристики обработанных в плазме образцов близки к характеристикам свежих катализаторов и катализаторов, обработанных традиционными методами. Исследования показали, что технология плазменной регенерации катализаторов имеет перспективу ввиду сокращения времени их обработки и более низких энергозатрат.

Abstract: The article presents the results of the study of the low-temperature plasma utilization for the surface treatment of some types of catalysts. It is shown that the characteristics of the samples treated in plasma are close to that of fresh catalysts and catalysts treated by traditional methods. Studies have shown that the technology of plasma regeneration of catalysts has a prospect, due to the reduction of processing time and lower energy costs.

Ключевые слова: вакуумная установка, пучок ионов, энергия ионов, ток ионного пучка, модификация поверхности, регенерация катализаторов.

Keywords: vacuum facility, ion beam, ion energy, ion beam current, surface modification, catalyst regeneration.

Введение

Широкое использование катализаторов в химической промышленности требует поиска более оперативных и менее энергозатратных методов проведения их регенерации. Использование таких свойств низкотемпературной плазмы, как высокая энергетика

заряженных частиц, их направленное воздействие на поверхность, и возможность использования в качестве рабочего тела активных газов, делает привлекательным применение плазмы в качестве инструмента для решения подобного рода задач. В настоящее время катализаторы являются неотъемлемой частью химических технологий. В процессе работы катализаторы дезактивируются за счет протекания на их поверхности нецелевых реакций. Требуется их реактивация методами регенерации. Традиционно катализаторы, содержащие отложения кокса, регенерируются путем окисления органических отложений в токе кислородосодержащего газа. Этот процесс требует повышенной температуры и энергетики. В настоящей работе для целей регенерации предлагается использовать высокие энергии частиц, образующихся в плазме, в частности высокоэнергетичные пучки ионов смеси кислорода и инертного газа. Ранее взаимодействие плазмы с поверхностью материала изучались в работах [1 - 5].

Методы исследования

Для исследований были выбраны следующие катализаторы:

- железокалиевый катализатор дегидрирования олефинов со сроком эксплуатации в процессе дегидрирования метилбутенов в изопрен в течение 12 500 часов;
- цеолитсодержащий гранулированный катализатор каталитического крекинга вакуумного газойля;
- катализатор гидрирования палладий на окиси алюминия с рабочим циклом 2 527 часов в процессе очистки пиролизной фракции C₄ от ацетиленов.

Исходные образцы были разделены на две части. Одну часть регенерировали в традиционных условиях, другую в среде плазмы с последующим тестированием проб в идентичных условиях.

Традиционная регенерация рассматриваемых видов катализаторов заключается в следующем:

- железокислый катализатор дегидрирования олефинов подвергается термической обработке водяным паром при температуре 650°C;
- катализатор каталитического крекинга регенерируется в среде осушенного воздуха при температуре 550-570°C;
- катализатор гидрирования палладий на окиси алюминия регенерируется в азото-воздушной среде при температуре 450-500°C.

Исследования в среде плазмы проводились с использованием вакуумной установки с рабочей камерой объемом 0,35м³, со средствами откачки: форвакуумным и турбомолекулярным насосами. Уровень откачки контролировался датчиками измерения вакуума.

В качестве источника высокоэнергетических частиц использовался цилиндрический ВЧ источник ионов (ВЧ ИИ), который обеспечивал пучок ионов диаметром 100 мм, с расхождением 15°. Энергия ионов регулировалась от 500 до 1000 эВ, ток пучка от 50 до 150 мА. В качестве рабочего тела использовался аргон с добавлением кислорода.

Для регенерации образцы катализатора размещались на поддоне перед ВЧ ИИ, на расстоянии 350 мм. Обработка проводилась в два этапа. На первом этапе, длительностью 5 минут, поверхность образцов подвергалась воздействию ионами аргона, с энергией частиц 1000 эВ. Ток пучка при этом составлял 160 мА. На втором этапе в качестве рабочего тела использовалась смесь аргона и кислорода в равных пропорциях. Энергия частиц также поддерживалась на уровне 1000 эВ, а ток пучка был на уровне 140 мА. Длительность второго этапа в разных экспериментах была от 5 до 10 минут.

Для тестирования образцов с изучением их каталитических свойств использовали лабораторную установку проточного типа. В ходе испытаний для каждого образца устанавливали соответствующий режим тестирования. Испытания проводились в объеме катализатора 30 см³. Отбор проб продуктов реакции проводили при испытании катализатора дегидрирования и гидрирования в конце каждого часа и анализировали на газовом хроматографе. Определение показателей активности и селективности производили по результатам хроматографического анализа углеводородного сырья и катализата. По условиям

испытаний катализатора каталитического крекинга отбор проб проводили через 20 минут после подачи сырья. Выход целевых продуктов определяли с последующей разгонкой продуктов реакции, принимая продукты с температурой кипения до 200°C как бензиновую фракцию, а продукты с температурой кипения в диапазоне 200-360°C как дизельную фракцию.

При тестировании катализатора дегидрирования в качестве сырья использовали метилбутены с концентрацией 85,0% мас., при тестировании палладиевого катализатора гидрирования – пиролизную фракцию C₄, с содержанием винилацетилена 1,0% мас. и бутадиена (дивинил) 41,0% мас. В реакции каталитического крекинга в качестве сырья применялся вакуумный газойль.

Механическая прочность образцов определялась путем измерения разрушающего усилия при раздавливании гранул катализатора по образующей, между двумя параллельными плоскостями.

Содержание кокса определялось сжиганием углерода с поверхности катализатора в токе воздуха, с последующим поглощением образующейся двуокиси углерода раствором баритовой водой.

Полученные результаты лабораторных испытаний приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1 – Характеристики железо-калиевого катализатора дегидрирования.

| Наименование показателя | Катализатор марки КД-1 с пробегом 12500 часов | | |
|--|---|--------------------------------|--------------------------|
| | Исходный | После традиционной регенерации | После обработки в плазме |
| Механическая прочность, % мас. | 88,0 | 85,0 | 88,0 |
| Удельная поверхность, м ² /г | 1,49 | 3,0 | 1,0 |
| Содержание кокса, % мас. | 0,838 | 0,25 | 0,8 |
| *Активность, % мас. | 46,5 | 49,2 | 45,0 |
| *Селективность, % мас. | 93,5 | 92,75 | 93,64 |
| *Показатели активности и селективности определены в следующем режиме тестирования: температура в зоне реакции дегидрирования 600°C; объемная скорость подачи сырья по жидкости 1 час ⁻¹ ; разбавление углеводородного сырья водяным паром 1:5 по массе. | | | |

Таблица 2 – Характеристики катализатора марки КГ-12 каталитического крекинга вакуумного газойля.

| Наименование показателя | Катализатор марки КГ-12 | | |
|---|-------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| | Свежий | После традиционной регенерации | После обработки в плазме |
| Механическая прочность, кг/таблетку | 33,0 | - | 21,23 |
| Удельная поверхность, м ² /г | 75,0 | 67,6 | - |
| Содержание кокса, % мас. | 1,23 | 0,2 | 1,05 |
| *Выход БФ, % мас. | 28,6 | 28,6 | 23,35 |
| *Выход ДФ, % мас. | 34,4 | 34,4 | 40,0 |
| Сумма светлых продуктов, % мас. | 62,98 | 62,98 | 63,35 |
| *Каталитические свойства определены в следующем режиме тестирования: температура в зоне реакции крекинга вакуумного газойля 460°C; объемная скорость подачи сырья по жидкости 1,5 час ⁻¹ . | | | |

Таблица 3 – Характеристики палладиевого катализатора гидрирования.

| Наименование показателя | Катализатор марки КПШ-1,5 | | | |
|---|---------------------------|--------------|--------------------------------|--------------------------|
| | Свежий | Отработанный | После традиционной регенерации | После обработки в плазме |
| Механическая прочность, кг/таблетку | 10,42 | 10,25 | 8,51 | 9,93 |
| Удельная поверхность, м ² /г | 88,76 | 88,6 | 92,15 | 70,19 |
| Содержание кокса, % мас. | 0,06 | 1,35 | 0,26 | 1,35 |
| *Активность, % мас. | 70,39 | 62,6 | 71,44 | 87,7 |
| *Селективность, % мас. | 92,0 | 92,0 | 91,18 | 89,0 |
| *Показатели активности и селективности катализатора определены в следующих условиях тестирования: температура 30°C; объемная скорость подачи газа 1100 час ⁻¹ ; соотношение ацетилены:водород = 1:5 моль/моль. | | | | |

Результаты и обсуждение

Как видно из таблицы 1, регенерация в среде плазмы не способствовала очистке поверхности катализатора от углеродистых отложений (кокса). Наблюдалось снижение удельной поверхности образца. Каталитические свойства катализатора пусть незначительно, но оказались ниже, чем до регенерации в среде плазмы. Активность катализатора увеличивалась при проведении регенерации в традиционных для данного вида катализатора условиях.

Согласно результатам исследований при испытании катализатора крекинга вакуумного газойля, обработанного в среде плазмы, наблюдалось снижение выхода бензиновой фракции (таблица 2). При этом выход светлых продуктов каталитического крекинга оказался на уровне стандартного опыта за счет увеличения выхода дизельной фракции.

Согласно таблице 3, проведение регенерации палладиевого катализатора гидрирования в среде плазмы не приводит к освобождению поверхности катализатора от углеродистых отложений. Удельная поверхность катализатора становится даже ниже, чем до регенерации, однако каталитическая активность в процессе селективного гидрирования ацетиленовых углеводородов увеличивается.

Таким образом, наибольший интерес представляют результаты, полученные с палладиевым катализатором гидрирования. Плазменная обработка не избавила поверхность катализатора от углеродистых отложений, удельная поверхность даже снизилась. Но, при этом, обработанный катализатор показал активность выше, чем у «свежего» катализатора. Ввиду неожиданности результатов анализа были проведены несколько раз. Результаты повторились.

Выводы

1. Проведенные исследования показали, что возможна регенерация катализаторов в плазме, за более короткое время и меньшие энергетические издержки.
2. Для подтверждения полученных результатов требуется проведение расширенных экспериментов, с привлечением большего количества изменяемых параметров, как то состав газовой смеси, энергия частиц, время обработки.
3. Традиционная наука о катализаторах настаивает на паразитной роли кокса в активных центрах. Подтверждение полученных результатов может дать основание для уточнения механизма работы катализаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alexandrov A.F., Kralkina E.A., Pavlov V.B. at al. RF Discharge at Atmospheric Pressure and the Effects on Material Surface Property // Contr. Papers of Intern. Sympos. on pulsed Power and Plasma Application, 2004, с. 197-202.

2. Alexandrov A.F., Bugrov G.E., Kralkina E.A., Pavlov V.B. at al. Comparative analysis of different surface modifications methods // Contr. Papers of IV Intern. Conf. "Plasma Physics and Plasma Technology", 2003, том 2, с. 530-533.

3. Александров А.Ф., Вавилин К.В., Кралькина Е.А., Павлов В.Б. Перспективные плазменные и ионно-пучковые нанотехнологии. Источники плазмы. Установки. // Научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные аспекты инновационных проектов Физического факультета МГУ», 18-19 ноября 2009, Москва.

4. Павлов В.Б., Шулаева Е.А. Плазменная активация поверхности катализаторов // Научно-практическая конференция «Современные технологии в образовании и промышленности: от теории к практике». – Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2018. – С. 146-148.

5. Павлов В.Б., Шулаева Е.А., Кралькина Е.А. Перспективы применения низкотемпературной плазмы в химической и нефтеперерабатывающей промышленности // Бутлеровские сообщения. 2018. Т.56. №11. С. 160-165.

УДК 664. 871.66.015:621.036.7

**ЭКСЕРГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЯ И ВЛАГОУДАЛЕНИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СЫРЬЯ
EXERGO-ECONOMIC INDICATORS OF EVALUATING THE ENERGY EFFICIENCY
OF THE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MOISTURE ABSORPTION
AND MOISTURE DURING PROCESSING OF RAW MATERIALS**

**Геннадий Владиславович Калашников
Gennady V. Kalashnikov**

*Воронежский государственный университет инженерных технологий, Россия, Воронеж
The Voronezh State University of Engineering Technologies, Russia, Voronezh
(e-mail: kagen5@yandex.ru)*

Аннотация: Для оценки энергоэффективности технологических процессов тепловлажностной обработки и сушки, а также ресурсосбережения аппаратурно-технологических схем переработки сырья предложены и адаптированы энергетический и эксергетический методы термодинамического анализа с комплексной оценкой технологий на основе эксерго-экономических показателей по составленным методикам.

Abstract: To assess the energy efficiency of technological processes of heat-moisture treatment and drying, as well as resource-saving technological schemes for processing raw materials, energy and exergy methods of thermodynamic analysis are proposed and adapted with a comprehensive assessment of technologies based on exergy-economic indicators using the methods developed

Ключевые слова: эксергия, энергия, энергоэффективность, влаготепловая обработка, влагопоглощение, сушка.

Keywords: exergy, energy, energy efficiency, heat-moisture of handling, moisture absorption, drying

Одним из методов энергетической оценки эффективности использования теплоносителя и ресурсосбережения аппаратурно-технологических схем переработки сырья является эксергетический метод термодинамического анализа, характеризующий качественно изменение теплоты в технологических процессах [1].

Выполненные экспериментальные исследования и термодинамический анализ показали, что основные стадии переработки растительного сырья, оказывающие

существенное влияние на величину энерго- и эксергозатрат, связаны с процессами влагопоглощения (гидратация, бланширование, варка и т.д.) и влагоудаления (выпаривание, сушка), которые ввиду своей энергоёмкости определяют себестоимость готовой продукции [2-9].

Влаготепловая обработка (гидратация, сушка и др.) сырья отличается от других стадий производства, например пищевых концентратов, значительной продолжительностью, невысокой тепловой эффективностью оборудования, высокими удельными расходами энергетических и материальных сырьевых потоков, значительной длительностью процесса и невысокой степенью использования энергетического потенциала теплоносителя [2-4, 7-9]. При этом процесс сушки определяет качество готового изделия, продолжительность обработки, рентабельность производства, степень энерго- и ресурсосбережения аппаратурно-технологических линий [2].

В этой связи ставится задача определения рационального количества теплоты и наименьших эксергетических потерь в контрольной поверхности рабочей камеры проектируемого оборудования влаготепловой обработки различного сырья с учетом ограничений, накладываемых на качество продукта.

Целью работы является адаптация эксергетического анализа и разработка показателей для оптимизации и определения степени энергетической эффективности технологических процессов с влаготепловым воздействием.

Достижение цели обеспечивается результатами исследований кинетических закономерностей, теплового и эксергетического анализа определения степени термодинамической эффективности контрольных поверхностей технологических процессов и всей машинно-аппаратурной линии переработки сырья на основе второго закона термодинамики [3-7, 10]. Основными требованиями при этом являются: повышение тепловой эффективности сушки и взаимосвязанных процессов, снижение энергозатрат, сокращение продолжительности обработки и обеспечение высокого качества готовых высушенных изделий.

На основе выполненного сравнительного эксергетического анализа изменения эксергетических потоков различных аппаратурно-технологических схем переработки растительного сырья для оценки энергетической эффективности разрабатываемых технологий предложено использовать величины удельных эксергетических затрат на единицу готового продукта (кДж/т), единицу влагоудаления и влагоприращения (кДж/(кг·%)), а также, эксергетического КПД и эксерго-экономического показателя [3].

Для определения эффективных режимов в качестве критерия оптимизации предлагаются удельные стоимостные ($\Sigma \bar{S}$) материальные, тепло- и эксергозатраты ($\Sigma \Delta \bar{E}$) на единицу изменения влаги ($\Delta \bar{G}$) продукта:

$$K = \frac{\Sigma \Delta \bar{E} \cdot \Sigma \bar{S}}{\Sigma \bar{E}_{\text{общ}} \cdot \Delta \bar{G}} \rightarrow \min \frac{\text{руб}}{\text{кг}}, \quad (1)$$

где $\Sigma \bar{E}_{\text{общ}}$ - суммарные затраты эксергии потоков энерготехнологической системы (ЭТС), которые определяются теплоэнергетическими затратами при влагоперемещении в единицу времени; $\Delta \bar{G}$ – изменение влаги продукта при влагопоглощении и влагоудалении.

Изменение влаги продукта определяется формулами:

при влагопоглощении

$$\Delta G_v = G_v - G_n, \quad (2)$$

при влагоудалении

$$\Delta G_c = G_n - G_c, \quad (3)$$

где G_n , G_v , G_c – соответственно, расходы начального сырья, после влагопоглощения и высушенного изделия.

Суммарные эксергозатраты определяются теплоэнергетическими затратами при влагопоглощении ($\Sigma \bar{E}_v$) и влагоудалении ($\Sigma \bar{E}_c$) в единицу времени

$$\Sigma \bar{E}_{\text{общ}} = \Sigma \bar{E}_e + \Sigma \bar{E}_c \quad (4)$$

Тогда, с учетом уравнений (2)-(4) и суммарной стоимости ($\Sigma \bar{S}$) материальных, тепло- и эксергозатрат в единицу времени, выражение (1) имеет вид

$$K = \frac{(\Sigma \bar{E}_{\text{общ}} - \Sigma \bar{E}_n) \cdot \Sigma \bar{S}}{\Sigma \bar{E}_{\text{общ}} \cdot \Delta \bar{G}} = (1 - \eta_3) \frac{k_3 \cdot \sum_{i=1}^n N_{ij} + \sum_{i=1}^s k_m \cdot Q_{ij}^m + \sum_{i=1}^p k_n \cdot Q_{ij}^n}{G_n \cdot A_j} \rightarrow \min \quad (5)$$

где $\eta_3 = \frac{\Sigma \bar{E}_n}{\Sigma \bar{E}_{\text{общ}}}$ – эксергетический КПД; $\Sigma \bar{E}_n$ – полезно используемая эксергия, затраченная на осуществление технологических процессов ЭТС; $k_3 \cdot \sum_{i=1}^n N_{ij}$ – затраты на электроэнергию в единицу времени для создания массового потока теплоносителя и других сырьевых потоков; $\sum_{i=1}^n N_{ij} = N_{1j} + N_{2j} + \dots + N_{ij}$ – суммарная потребляемая мощность магнетронов, электроприводов вентилятора подачи теплоносителя, пульсатора, дозаторов бункеров загрузки и выгрузки продукта, перемещения рабочих секций, насосов подачи жидкости и т.д., кВт; $\sum_{i=1}^s k_m \cdot Q_{ij}^m$ – затраты по теплоте в единицу времени для создания теплового потока энергоносителя (в основном пара), руб/ч, Q_{ij}^m – расход теплоты на j - процессе; $\sum_{i=1}^p k_n \cdot Q_{ij}^n$ – затраты материальных сырьевых ресурсов (вода, сырье, продукт и т.д.), Q_{ij}^n – расход i -сырья для j -процесса, кг/ч; k_3, k_m, k_n – удельная стоимость электроэнергии, теплоты и сырья; A_j – соответствует j -процессу, при влагопоглощении $A_B = \left(\frac{\bar{u}_B - \bar{u}_H}{1 + \bar{u}_H} \right)$ и влагоудалении $A_C = \left(\frac{\bar{u}_H - \bar{u}_C}{1 + \bar{u}_H} \right)$.

В качестве вариантов для обеспечения энергоэффективности процессов влагопоглощения и влагоудаления разработаны тороидальные и роторные сушилки непрерывного действия для термолабильных изделий [2, 9]. Для разработанных комбинированных способов влаготеплового воздействия предложены конструкции, технологические схемы и линии комплексной переработки на примере растительного сырья [11-15].

Основные преимущества по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами состоят в снижении потери теплоты и удельных энергозатрат за счет замкнутого цикла использования теплоносителя (эксергетический КПД составляет до 0,75) при наиболее полной полезной утилизации его тепла на различных технологических стадиях производства.

Выводы

На основе энергетического и эксергетического методов термодинамического анализа выполнена комплексная оценка эффективности ресурсосберегающих технологий по эксерго-экономическим показателям и составленным методикам на примере производства пищевых концентратов с учетом качества и конечной себестоимости готовой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаргут Я., Р. Петела. Эксергия. М.: Энергия, 1968. 278 с.
2. Калашников Г.В. Развитие процессов влаготепловой обработки пищевого растительного сырья (теория, технология и техника). Дис. ... докт. техн. наук. Воронеж: ВГУИТ, 2004. 365 с.
3. Калашников Г.В. Рациональное использование вторичных энергоресурсов при сушке и переработке зерна, зернопродуктов, картофеля и плодоовощного сырья // Инновационные процессы в пищевых технологиях: наука и практика: материалы международной научно-практ. конф. Москва: ВНИИЗ, 2019. С. 168-174
4. Калашников Г.В. Анализ эксергетических затрат влаготепловой обработки картофеля, круп и овощей при производстве пищевых концентратов // Воронеж: Вестник ВГТА. 2006. № 11. С. 51-60
5. Калашников Г.В. Эксергетическая оценка явлений тепло и массопереноса при влаготепловой обработке пищевого сырья // Явления переноса в процессах и аппаратах

химических и пищевых производств: материалы II Международной научно-практ. конф. Воронеж : ФГБОУ ВО «ВГУИТ», 2016. – С. 317-321

6. Калашников Г.В. Интенсивность влаготеплового воздействия при осциллированной влаготепловой обработке сыпучих продуктов // Вестник ВГТА. 2009. № 1. С. 39-44

7. Калашников Г.В., Литвинов Е.В. Оценка тепловой эффективности технологической схемы производства яблочных чипсов и сушеных плодов // Вестник ВГУИТ. 2014. № 3 (61). С. 11-17

8. Калашников Г.В., Литвинов Е.В. Тепловой анализ ресурсосберегающей линии производства фруктовых чипсов // Вестник ВГУИТ. 2014. № 4 (62). С. 12-16.

9. Калашников Г.В., Черняев О.В. Энергоэффективное технологическое оборудование для сушки растительного сырья // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практ. конф. Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГАУ им. Императора Петра I», 2018. – С. 85-89.

10. Калашников Г.В., Литвинов Е.В. Кинетика СВЧ-сушки яблок // Воронеж: Вестник ВГУИТ. 2012. № 2 (52). С. 40-42

11. Калашников Г.В., Черняев О.В. Сушилка термолабильного пищевого растительного сырья непрерывного действия // Инженерия техники будущего пищевых технологий: материалы международной научно-техн. конф. Воронеж : ВГУИТ, 2018. С. 95-98

12. Калашников Г.В., Черняев О.В. Роторная сушилка. Патент РФ №2647557, МПК-7: F26B 15/04; опубл. 19.03.2018 // Изобретения. Полезные модели. 2018. № 8

13. Калашников Г.В., Литвинов Е.В. Линия производства сушеных яблок, груш, моркови, тыквы и чипсов // Вестник ВГУИТ. 2015. № 4 (66). С. 28-32.

14. Калашников Г.В., Назаретьян Д.В. Безотходная технология производства сухого картофельного пюре // Вестник ВГУИТ. 2015. № 3 (65). С. 50-54.

15. Калашников Г.В., Черняев О.В. Линия производства сушеной моркови. Патент РФ № 2651281, МПК-7: A23B 7/00, A23B 7/02; опубл. 19.04.2018 // Изобретения. Полезные модели. 2018. № 11

УДК 66.041

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ В НЕФТЕХИМИИ
NEW TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TO ENHANCE ENERGY EFFICIENCY OF
TUBULAR FURNACES IN PETROCHEMISTRY**

**Светлана Георгиевна Дьячкова, Сергей Юрьевич Ляшонok
Svetlana G. Dyachkova, Sergei Yu. Lyashonok**

*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия, Иркутск
Irkutsk national research technical university, Russia, Irkutsk
(e-mail: dsg2108@gmail.com)*

Аннотация: Предложена модернизация конструкции трубчатой печи для применения индукционного обогрева змеевика. Найдена корреляция между толщиной коксовых отложений и теплопередачей на стенку трубчатого змеевика. Предложено техническое решение для определения толщины коксовых отложений без остановки печи на ремонт

Abstract: The authors propose to upgrade the construction of tube-type furnace in order to use induction coil heating. A correlation was found between the thickness of the coke deposits and the heat transfer to the wall of the tubular coil. The proposed technical solution for determining the thickness of coke deposits without stopping the furnace for repair

Ключевые слова: трубчатые печи; нефтепереработка; индукционный нагрев трубчатых печей; отложения кокса.

Key words: tube furnaces; oil processing; induction heating of tube furnaces; coke thickness

Повышение энергоэффективности нагревательных установок с целью снижения себестоимости и повышения качества производимой продукции, является одной из актуальных задач нефтехимических производств. На подогрев перерабатываемого сырья уходит более 70 % энергоресурсов. Трубчатые печи - основной потребитель энергоресурсов на нефтехимических производствах. От качества и эффективности их работы зависит более 10 % издержек на выпуск продукции предприятием [1].

Важным аспектом в программе оптимизации работы трубчатых печей является диагностика закоксованности змеевиков. В настоящее время толщину кокса работающей печи никак не оценивают. Обычно печи останавливают раз в год для ремонта и очистки трубчатого змеевика от кокса. Наличие кокса на стенках трубчатого змеевика можно констатировать по росту давления на подающих насосах и увеличению температуры змеевика. Если измерять толщину кокса, то возможно точное прогнозирование межремонтного пробега печи.

Нами найдена корреляция между температурой стенки трубчатого змеевика печи, передающей заданное количество тепла нефтепродукту, и толщиной слоя кокса. Предложен метод контроля коксообразования, основанный на корреляционной зависимости между толщиной отложений и температурой поверхности труб змеевика. Предложено техническое решение по которому температуру стенки трубы, необходимую для расчета толщины коксовых отложений предлагается измерить с помощью термопар, установленных в приварных карманах, расположенных с теневой стороны трубчатого змеевика. Разместить термопары необходимо на самых горячих трубах змеевика в трёх точках: верхней части трубы, средней и нижней. Это требуется для достоверности полученных результатов и определения толщины отложений кокса на участках трубы с разной степенью закоксованности. Термопару необходимо поместить в специальный карман, чтобы свести к минимуму воздействие от потока дымовых газов. Предложенное техническое решение не требует высоких капитальных затрат, однако позволяет получить оперативные данные о состоянии змеевика печи с передачей на пульт оператора. Данные меры также позволяют оптимизировать режим запуска и изменения режима работы печей для минимизации образования кокса в переходный период работы печи.

Основные проблемы, которые не получится решить только при оптимизации традиционных трубчатых печей на установках переработки углеводородного сырья - это потери тепла с отходящими газами и местный перегрев труб. Качество нагрева можно улучшить, если нагревать трубы целиком, а не точечными источниками тепла. Нами предложена модернизация конструкции трубчатой печи на основе систем обогрева индукционным током, что позволит: удешевить строительство и эксплуатацию печи, понизить энергозатраты и повысить КПД трубчатой печи, снизить количество коксовых отложений в трубах, за счет снижения зон перегрева, и как следствие увеличить межремонтный интервал работы печи. Предложено и подтверждено расчетами изменение конструкция обогревателя и компоновка трубчатой печи при переводе на индукционный обогрев. При использовании этой технологии каждая труба помещается в качестве сердечника в спиральный медный проводник с жидкостным охлаждением. На проводник подаётся высокочастотное напряжение и индукционные токи разогревают трубу на длину всей обмотки. Между обмоткой и трубой размещена теплоизоляция, которая минимизирует потери тепла и стабилизирует тепловой режим нагрева трубопровода. Для охлаждения индукторов нагревателей используется вода, которая, нагреваясь, может использоваться для технологических нужд. Каждая печь состоит из нескольких энергоблоков. Каждый блок состоит из части обогреваемой трубы с фланцами или под приварку, слоем теплоизоляции, такой толщины, чтоб максимально снизить потери тепла. Применение индукционного нагрева имеет следующие преимущества: нагревательный элемент не перегорает, так как сам по себе не греется и кроме того охлаждается водой или другим жидким теплоносителем; компоновка печи произвольная – отдельные нагреваемые сегменты трубопровода можно располагать в пространстве произвольно для компактности

установки; отдельные нагревательные сегменты в комплекте с силовыми шкафами работают независимо, и при выходе из строя одного из нагревательных сегментов, установку не потребуется останавливать на срочный ремонт; капитальные строительные конструкции значительно упрощаются, так как уже не требуются конструкции, обеспечивающие качественный аэродинамический отвод дымовых газов; коммуникации для углеводородного топлива с множеством сложного и дорогого оборудования не требуются; запуск и остановка установки реализуется проще, чем при огневом нагреве; потери тепла минимизированы нагревом трубы под изоляцией, охлаждающую воду можно использовать в качестве предварительного нагрева для технологических нужд. При использовании индукционного нагрева будет возможен нагрев с постоянной разницей температур, закоксовывание уменьшится, так как перегретых участков будет меньше. Управление нагревом отдельных участков даст возможность реализации сложной схемы нагрева, которую невозможно реализовать в обычной трубчатой печи.

При использовании индукционного нагрева будет возможен нагрев с постоянной разницей температур. Нагрев будет происходить мягче, чем при огневом нагреве, а закоксовывание уменьшится, так как перегретых участков будет меньше.

Выводы

Найдены новые подходы и методы увеличения энергоэффективности трубчатых печей. Разработан расчетный метод, выявляющий корреляционную зависимость между толщиной коксовых отложений и температурой труб. Предложены элементы модернизации конструкции трубчатой печи, позволяющие оценить толщину коксовых отложений без остановки печи. Найдено техническое решение по повышению энергоэффективности трубчатых печей на основе систем обогрева индукционным током. Предложено и подтверждено расчетами изменение конструкции обогревателя и компоновка трубчатой печи при переводе на индукционный обогрев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ляшон С.Ю., Дьячкова С.Г. Обзор конструктивных особенностей трубчатых печей. // Вестник ИрГТУ. 2013. № 12. С. 213-219.
2. Lyashonok S.Ju., Knizhnik A.V., Ribkin A.Ja., D'yachkova S.G. Optimization of energy efficiency of tube furnaces. // Internationaler Kongress Fachmesse. "Okologische, technologische und rechtliche aspekte der lebensversorgung ". Hannover. 2012. С. 82-83.
3. Кузнецов А.М., Ляшон С.Ю., Книжник А.В., Дьячкова С.Г. Влияние толщины коксовых отложений на теплопередачу и температуру стенки змеевика трубчатой печи // Мир нефтепродуктов (Вестник нефтяных компаний). 2012. № 7. С.38-40.

УДК 665.6/.7

**ФАКТОРЫ СБЕРЕЖЕНИЯ РЕСУРСОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**
**FACTORS OF SAVING RESOURCES OF OIL AND GAS INDUSTRY OF THE
REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

Алимджан Абдурахимович Закиров, Мухаммад Кахрамон угли Каримов
Alimdzhana A. Zakirov, Muhammad K. Ugli Karimov

*Узбекистанское научно-инженерное общество нефтяной и газовой промышленности
(Уз НИО НГП), Узбекистан, Ташкент*

*Uzbekistan Scientific-Engineering Society of the Oil and Gas Industry (Uz NIO NGP),
Uzbekistan, Tashkent*

(e-mail: uzniongp@gmail.com, atn7772@gmail.com)

Аннотация: В работе рассматриваются вопросы эффективного потребления ресурсов в нефтегазовой отрасли Узбекистана как одного из самых больших потребителей первичных ресурсов. Приводится классификация видов ресурсов, потребляемых в нефтегазодобыче. Анализируется политика ресурсосбережения в стратегических планах развития различных государств мира. С учётом зарубежного опыта определяются основные задачи стратегии ресурсосбережения в нефтегазовой отрасли Узбекистана.

Abstract: The paper examines the issues of efficient resource consumption in the oil and gas industry of Uzbekistan as one of the largest consumers of primary resources. A classification of the types of resources consumed in oil and gas production is given. The resource saving policy is analyzed in the strategic development plans of various countries of the world. Taking into account foreign experience, the main objectives of the resource saving strategy in the oil and gas industry of Uzbekistan are determined.

Ключевые слова: нефтегазодобыча, классификация ресурсов, задачи стратегии ресурсосбережения.

Keywords: oil and gas production, resource classification, resource saving strategy tasks.

Проблемы эффективного потребления ресурсов всегда являлись достаточно актуальными. Сокращение ресурсоемкости ВВП и основных отраслей народного хозяйства входит в число важнейших стратегических задач Узбекистана. Особо остро вопрос эффективного потребления ресурсов стоит перед отечественной нефтегазовой отраслью, т.к. именно данный сектор экономики, является одним из самых больших потребителей первичных ресурсов.

Нефтегазовый сектор оказывает, и будет оказывать огромную роль в экономическом развитии Узбекистана. Занимая почти пятую часть в структуре промышленного производства, он оказывает огромный мультипликативный эффект на все отрасли экономики.

Динамичное развитие экономики страны требует адекватного энергообеспечения. Решение задачи поддержания высоких темпов экономического роста не ниже 7–8% в год на предстоящий 10–15 летний период не возможно без значительных усилий для сохранения устойчивого развития нефтегазового сектора, снабжающего экономику страны не только энергетическими ресурсами, но и сырьем для развития химической и нефтехимической промышленности.

Нефтяной сектор экономики традиционно отличается повышенной ресурсоемкостью. При этом потребляются различные виды ресурсов как возобновляемых, так и невозможных (исчезающих). В то же время любые виды первичных или природных ресурсов не бесконечны. Такие виды ресурсов, как земля, вода, воздух, хотя и существенно ухудшают свои свойства в процессе использования, но возвращаются в процесс кругооборота, что позволяет их отнести

к разряду возобновляемых. Иная ситуация наблюдается в отношении топлива и материалов, которые в процессе потребления полностью исключаются из кругооборота, что позволяет отнести их к невозполнимой, т.е. исчезающей категории. Таким образом, можно привести классификацию видов ресурсов, потребляемых в нефтегазодобыче следующим образом (рисунки 1 и 2)

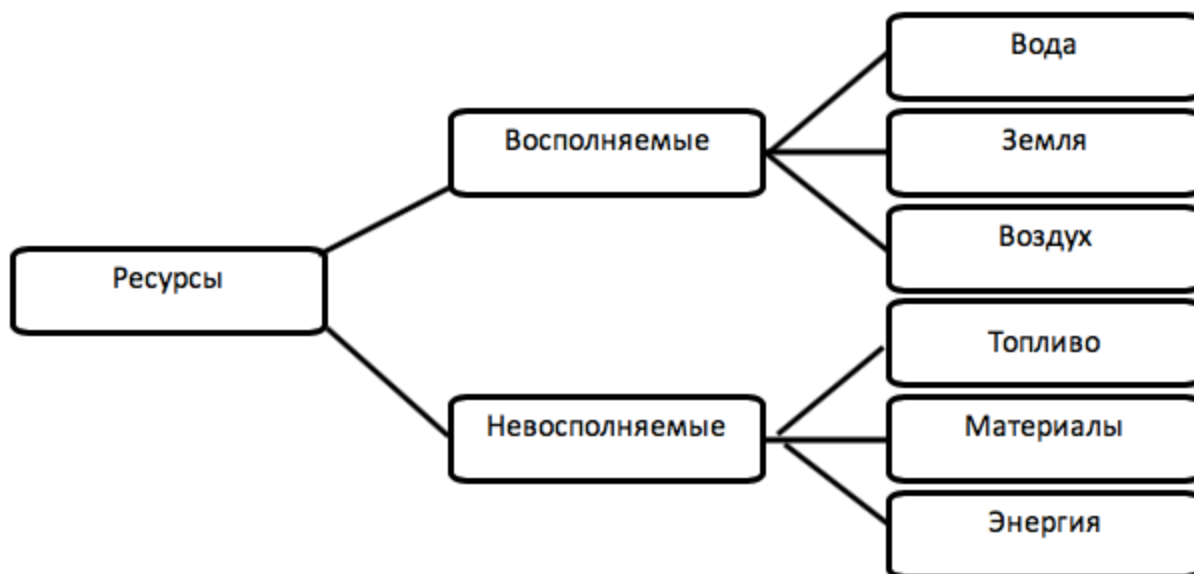


Рисунок 1 – Схема классификации видов ресурсов.

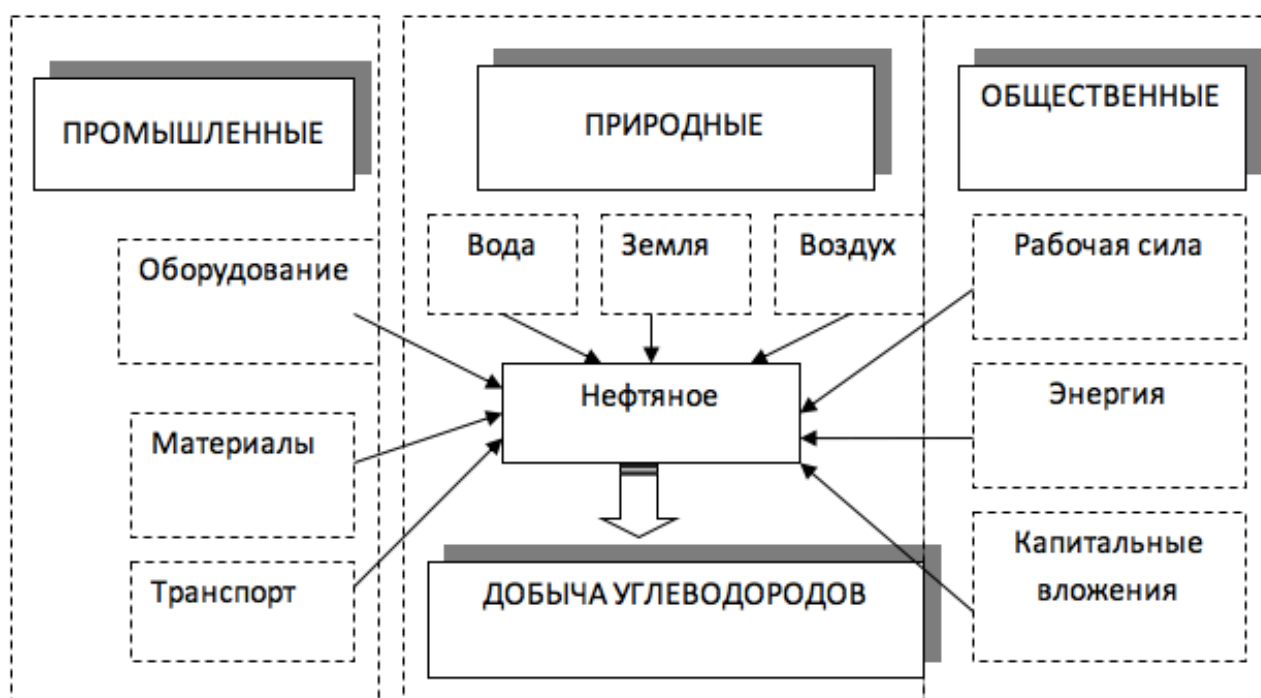


Рисунок 2 – Схема классификации ресурсов по источникам.

Накопленный в зарубежных странах опыт государственного регулирования сферы ресурсосбережения можно систематизировать следующим образом:

Налоговые и имущественные – формирование системы налоговых льгот при реализации программ ресурсосбережения; разработка положения о создании специальных экономических зон с высокой ресурсоэффективностью.

- Тарифные – разработка предложений по структуре инвестиционной составляющей в тарифах на продукцию и услуги естественных монополий, а также положения о компенсации затрат регионов, реализующих программы ресурсосбережения.
- Инвестиционные – разработка системы государственной поддержки инвестиций в повышение ресурсо эффективности;
 - Формирование государственного заказа на энергосберегающую продукцию;
 - Создание государственно частных партнерств в сфере ресурсосбережения.
- Организационные – оптимизация ТЭБ, планирование топливо энергопотребления, интегрированное планирование; создание центров подготовки энерго аудиторов: поддержка создания саморегулируемых организаций в сфере обеспечения ресурсосбережения
 - Административные – контроль, мониторинг реформ, нормативы, стандарты. лимиты, аудит, экспертиза, лицензирование, сертификация;
 - Контроль над соблюдением условий контрактов; внесение изменений, введение в контракт статьи, предусматривающей отчисления на развитие курируемого региона
 - Образование, воспитание, обучение, подготовка высококвалифицированных кадров, научная база – разработка государственной программы научных исследований в области ресурсосбережения; формирование базы данных по инновационным разработкам и специалистам в области ресурсосбережения; создание сети инновационных центров; формирование государственной системы подготовки и переподготовки кадров в области ресурсосбережения.

И в настоящее время политика ресурсосбережения выступает доминантой в стратегических планах развития многих государств мира. Например, в Плате эффективного развития экономики Китайской Народной Республики до 2020 года сравнительно с уровнем 2000 года предусмотрено снизить энергоёмкость на 50–60 процентов, а углеродоёмкость – на 60 процентов.

Энергетическая стратегия Японии до 2030 года (2006 г.) направлена на сокращение импорта нефти к 2030 году не менее, чем на 40 процентов относительно уровня 2006 года. В связи с этим начата реализация Плате энергосбережения «Toprunner», которая должна обеспечить повышение энергоэффективности ВВП к 2030 году на 30 процентов по сравнению с 2006 годом.

В Энергетической стратегии России на период до 2020 года поставлена задача снижения энергоёмкости ВВП на 40 процентов за счет рационального использования топливно-энергетических ресурсов.

При этом определены следующие важнейшие направления ресурсосбережения: сокращение потерь на всех стадиях технологического процесса при добыче, подготовке, транспорте и переработке нефти и газа; углубление переработки нефти и газа, модернизация существующих нефтегазоперерабатывающих и нефтегазохимических производств, разработка и освоение новых отечественных технологий, переход на альтернативные источники сырья.

На сегодняшний день в Узбекистане создаются благоприятные условия для развития инновационной деятельности, направленной на ресурсосбережение, коренное обновление производственно-технологической базы и улучшение потребительских свойств продукции топливно-энергетического комплекса.

Однако в ходе анализа результатов проведённого исследования, которым были охвачены ведущие предприятия реального сектора экономики, выявлено, что около 30% используемой ими техники устарело. При этом в эксплуатации находится ещё немало оборудования, которое потребляет намного больше электроэнергии, чем его современные аналоги.

Для обеспечения эффективного управления экономическими процессами и дальнейшего решения задач по повышению конкурентоспособности промышленных производств руководством страны принимаются необходимые меры, в частности, по

техническому и технологическому обновлению предприятий, установке современного оборудования, в том числе, способного сократить большие энергетические затраты, содействуя снижению себестоимости продукции при повышении её качества.

Постановлением главы государства от 5 мая 2015 года № ПП-2343 «О Программе мер по сокращению энергоёмкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015–2019 годы» предусмотрено:

- снижение энергоёмкости выпускаемой продукции путём дальнейшей модернизации, технического и технологического перевооружения существующих и создания новых производственных мощностей исключительно на базе современных энергоэффективных и энергосберегающих технологий;
- разработка организационно-технических мероприятий по экономии топливно-энергетических ресурсов и отраслевых программ энергосбережения;
- проведение энергетического аудита предприятий в соответствии с международной практикой;
- расширение производства современных видов энергосберегающего оборудования, приборов и материалов, а также автоматизированных систем учёта расхода топливно-энергетических ресурсов, с повсеместным внедрением их в отраслях экономики.

В рамках Программы в сфере оптимизации потребления электроэнергии, энергосбережения и использования альтернативных источников энергии запланирована реализация 11 проектов на общую сумму 96,5 млн. долларов. При реализации данных проектов по предварительным подсчетам на объектах нефтегазовой промышленности ожидается экономия порядка 76,4 млн. кВт электрической и 100 тыс. Гкал тепловой энергии, а также выработка 3,9 млн. кВт электрической энергии для собственных нужд.

Опираясь на зарубежный опыт, можно сделать вывод, что основные задачи стратегии ресурсосбережения могут состоять в следующем:

1. Переход на региональном, отраслевом и корпоративном уровнях от стратегии энергосбережения к стратегии комплексной рационализации использования всех без исключения видов ресурсов (трудовых, материальных, финансовых, интеллектуальных, информационных и т.д.);
2. Создание на региональном уровне оптимальных организационно-экономико-правовых условий для реализации стратегии ресурсосбережения в НГК Узбекистана и в отраслях экономики, потребляющих его продукцию и находящихся с ним в кооперационных связях;
3. Разработка эффективных систем управления ресурсосбережением в компаниях НГК (в том числе средних и малых) в их взаимосвязи с системами управления бизнес-процессами, качеством продукции, природоохранной деятельностью и пр.;
4. Формирование на региональном и корпоративном уровнях механизмов финансирования программ ресурсосбережения, подготовки и повышения квалификации кадров для данной сферы, ускоренного и широкомасштабного внедрения достижений научно-технического прогресса;
5. Определение и реализация приоритетных направлений в области создания в НГК РК новейших прогрессивных материалов, обеспечивающих качественное улучшение параметров ресурса-потребления в других отраслях экономики региона.

УДК 621.47: 677.057

**ГЕЛИОКОЛЛЕКТОР ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ТЕКСТИЛЬНЫМ
АБСОРБЕРОМ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СЕЗОННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
SOLAR COLLECTOR MADE OF POLYMERIC MATERIALS WITH TEXTILE
ABSORBER FOR HEATING SEASONAL CONSUMERS**

**Николай Михайлович Шарпар, Леонид Иванович Жмакин, Максим Владимирович
Ефимов, Регина Александровна Пелевина, Татьяна Сергеевна Одинцова
Nikolai M. Sharpar, Leonid I. Zhmakin, Maxim V. Efimov, Regina A. Pelevin,
Tatyana S. Odintsova**

*Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: sharpar753@mail.ru)*

Аннотация: Рассмотрена конструкция и проведено исследование пористого нетканого абсорбента (белого цвета) транспирационного коллектора предназначенного для систем отопления и низотемпературной сушки.

Abstract: The design and study of porous nonwoven absorbent (white color) of the transpiration collector intended for heating and low-temperature drying systems are considered.

Ключевые слова: воздухоподогреватель, солнечный коллектор, нетканый абсорбер, теплоснабжение, сушка.

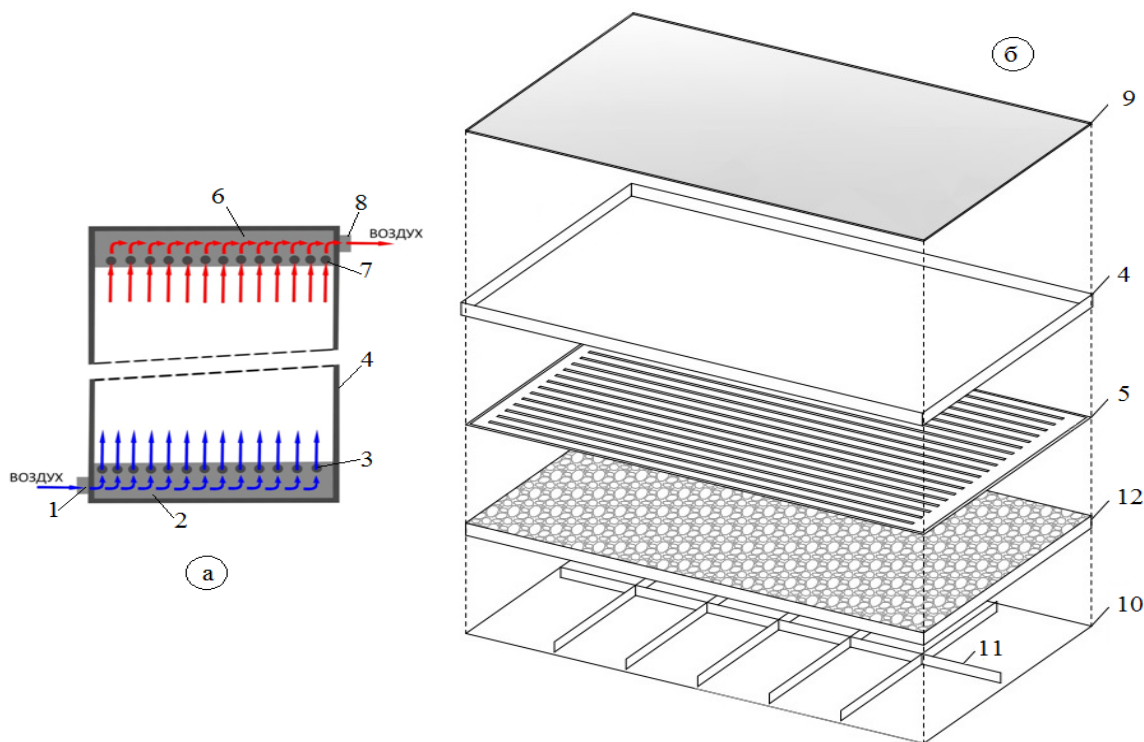
Keywords: air heater, solar collector, non-woven absorber, heat supply, drying.

В воздушных коллекторах происходит солнечный подогрев воздуха до температур 50...60°C, что достаточно не только для отопления зданий, но и для некоторых промышленных сушильных технологий. Эти воздухоподогреватели позволяют не только экономить первичные энергоресурсы, но и не загрязняют окружающую среду. Пока воздушные коллекторы не получили должного развития, однако их исследования активно ведутся во всем мире [1-10].

Обычно солнечные воздухоподогреватели выполняют по открытой схеме в виде протяженных каналов с зачерненными боковыми стенками и днищем и прозрачным покрытием сверху. Между собой они соединяются сетью воздухопроводов низкого давления. Важным достоинством таких коллекторов является их малая тепловая инерция, а к недостаткам можно отнести намного большие габариты по сравнению с жидкостными установками той же тепловой мощности и высокие энергозатраты на прокачку теплоносителя.

Поскольку воздух прозрачен для солнечного излучения; его подогрев может быть реализован двумя способами. В первом задействован механизм конвективной теплоотдачи между поглощающими излучение поверхностями, расположенными в корпусе коллектора и омываемым их воздушным потоком. Другой механизм нагрева – транспирационный, предусматривающий фильтрацию воздуха через пористую структуру абсорбера. Во втором случае абсорбер может быть выполнен в виде нескольких слоев металлических сеток либо текстильных материалов (тканей или нетканых полотен).

В транспирационных коллекторах (ТК) верхняя часть абсорбера обогревается солнечным излучением, поглощенное тепло переносится вглубь пористого слоя теплопроводным каркасом (матрицей) и передается воздуху за счет объемной теплоотдачи. Это позволяет заметно интенсифицировать процесс его подогрева благодаря большой поверхности теплообмена.



а - распределения теплоносителя; б - распределения слоев.

Рисунок 1 – схема общего вида ТК

ТК (рисунок 1а) выполнен в виде плоского коллектора. С внутренней стороны по периметру корпуса находятся каналы рисунок 1б, выполняющие роль не только ребер жесткости конструкции, но и служат как каналы для перекачивания теплоносителя 2, 6. В нижнем канале 2, как и верхнем 6 присутствуют отверстия для подачи 3 и забора 7 теплоносителя. Днище корпуса 10 из винилпласта с ребрами жесткости 11 из ПВХ профиля, в которых смонтирована теплоизоляция 12, данная конструкция соединяется с корпусом из ПВХ профиля 4 в нижнюю нишу, предусмотренную для монтажа рисунок 1б, верхнее покрытие из сотового поликарбоната 9 монтируется в верхнюю нишу рисунок 1б и прижимается декоративной полосой при помощи крепежных элементов. В корпусе находится абсорбер 5 выполненный из текстильного материала, так чтобы воздух, подаваемый в устройство попадал на верхнюю его поверхность, через отверстия, расположенные в верхней части профиля корпуса 2, затем транспортировался сквозь текстильный абсорбер 5 и уходил через профиль 6 с расположенными отверстиями 7 в нижней его части. Габариты конструкции составляют 1400 x 700 x 80 мм.

ТК работает следующим образом: в нижний патрубок 1 всасывается холодный теплоноситель из окружающей среды, проходит по каналу 2 через расположенные в верхней его части отверстия 3 и попадает в изолированный корпус солнечного коллектора 4, проходит, как вдоль, так и просасываясь сквозь абсорбер 5 выполненный в виде капиллярно-пористого текстильного материала собирая с него тепловую энергию, нагревается и покидает устройство выходя через отверстия 7 находящиеся в нижней части верхнего канала 6 по патрубку 8 всасывается к потребителю по системе воздуховодов за счет вентилятора.

В работе [11] было получено уравнение при помощи теории обобщенной проводимости, согласно которому мы определяли эффективный коэффициент теплопроводности волокнистого абсорбера (иначе, матрицы),

$$\lambda = \lambda_{mв} \left[\Pi^2 \lambda_{в} / \lambda_{mв} + (1 - \Pi^2) + \frac{4\Pi(1 - \Pi)\lambda_{в} / \lambda_{mв}}{1 + \lambda_{в} / \lambda_{mв}} \right],$$

где λ_v и λ_{tv} – коэффициенты теплопроводности воздуха и монолитного волокнообразующего полимера, Π – пористость. Использовались справочные данные по теплофизическим свойствам воздуха, приведенные в [12].

Расчетные значения эффективной теплопроводности абсорбера уменьшались с ростом его пористости и в диапазоне $0,5 < \Pi < 0,8$ составляли $0,10 \div 0,05$ Вт/мгр, что соответствовало экспериментальным данным. На рисунке 2 приведен результат модельных расчетов распределений температур теплоносителя по толщине слоя матрицы при пористости $\Pi=0,6$.

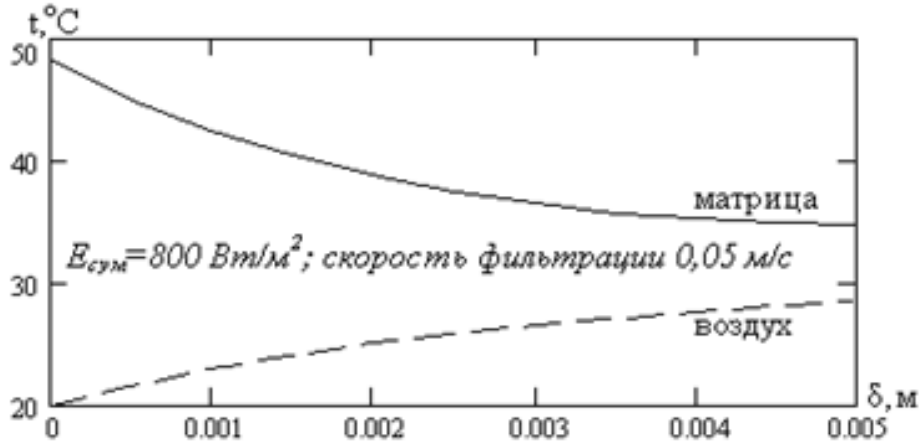


Рисунок 2 – Распределение температур в пористой матрице с пористостью $\Pi=0,6$ при интенсивности солнечного излучения $E_{сум}=800$ Вт/м² и скорости фильтрации теплоносителя 0,05 м/с

На рисунке 3 приведены результаты одного из экспериментов по солнечному нагреву воздуха в опытном образце ТК.

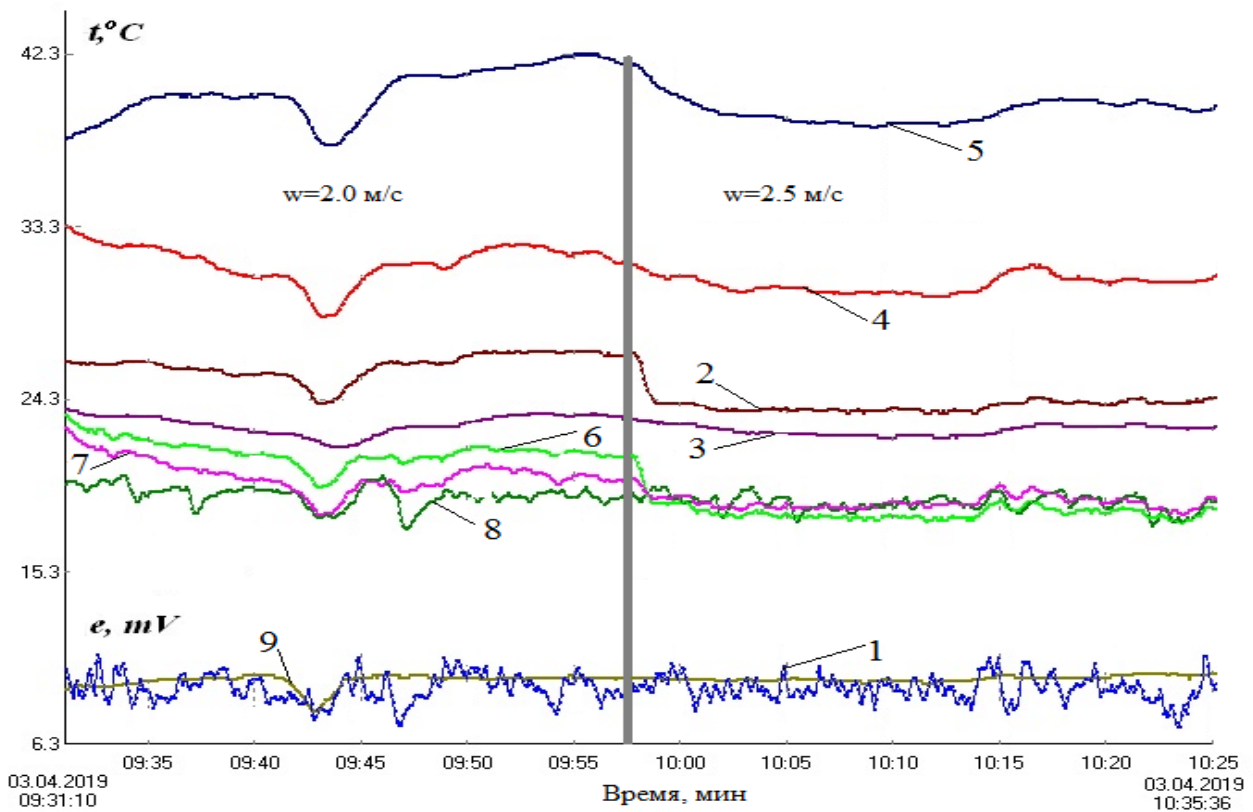


Рисунок 3 – Термограммы ТК при скорости прокачки теплоносителя 2,0 и 2,5 м/с

Графики на рисунке 3 построены в режиме реального времени, а номера кривых соответствуют номерам термопар, расположенным на экспериментальной панели (1 и 7 – температуры теплоносителя на входе и выходе их ТК; 2, 3, 4, 5, 6 – соответственно температуры в верхнем левом, правом углу, центре, нижнем правом и левом углу ТК; 8 – температура в помещении лаборатории; 9 – термо-ЭДС пиранометра М-80, пропорциональная интенсивности солнечного излучения). На рисунке 3 находятся две зоны в первой исследовании проводилось при скорости прокачки теплоносителя 2,0 м/с, а во второй при 2,5 м/с. На первом присутствует небольшой выпад из-за потери солнечного контакта спустя ~ 12 минут после запуска ТК. Затем включался нагнетатель, и в ТК подавался воздух. На втором было произведено изменение скорости прокачки с 10-00 и до завершения эксперимента ТК практически находился в статическом режиме работы. КПД коллектора составлял $8 \div 11\%$ при интенсивности солнечной радиации 860 Вт/м^2 и существенно возрастало с увеличением расхода воздуха. Как видно на рисунке 3, в экспериментах температура снаружи лаборатории составляла $\sim 8^\circ\text{C}$, верхней (облучаемой) поверхности пористой матрицы абсорбера составляла $29 \div 38^\circ\text{C}$, а воздух прогревался до $20 \div 23^\circ\text{C}$.

Солнечный воздухонагреватель может использоваться, как независимый источник горячего теплоносителя, причем он обладает, легкостью, простотой конструкции, наладки и быстрой мобильностью. Преимущество устройства заключается в возможности использования для обогрева небольших коттеджей, теплиц и сушки сельхоз продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bansal N., Ramachandra R. Solar Air Heaters. Chapter4, Reviews Renewable Energy Sources, V.2. Ed. M.S. Sodha at all, Willey Eastern Calcutta and John Willey. 1984.
2. Duffie J., Beckman W. Solar engineering of Thermal Processes. Third Edition. N-W., 2006. John Wiley & Sons. Inc. - 908p.
3. Tchinda R. A review of the mathematical models for predicting solar air heaters systems. // Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 13, Issue 8, October 2009, Pages 1734-1759.
4. Дульнев Г.Н., Семяшкин Э.М. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. Л.: Энергия, 1968. - 360 с.
5. Mohamad A. High efficiency solar air heater.// Solar Energy, Volume 60, Issue 2, February 1997, Pages 71-76.
6. Kolb A., Winter E., Viskanta R. Experimental studies on a solar air collector with metal matrix absorber. // Solar Energy, Volume 65, Issue 2,1 Febrauiy 1999, Pages 91-98.
7. Varshney L., Saini J. Heat transfer and friction factor correlations for rectangular solar air heater duct packed with wire mesh screen matrices. // Solar Energy, Volume 62, Issue 4, April 1998, Pages 255-262.
8. Prasad S., Saini J., Singh K. Investigation of heat transfer and friction characteristics of packed bed solar air heater using wire mesh as packing mate- rial. // Solar Energy, V. 83, Is. 5,2009, Pages 773-783.
9. Mittal M., Varshney L. Optimal thermohydraulic performance of a wire mesh packed solar air heater. // Solar Energy, Volume 80, Issue 9, September 2006, Pages 1112-1120.
10. Elkhawajah M., Aldabbagh L., Egelioglu F. The effect of using transverse fins on a double pass flow solar air heater using wire mesh as an absorber. II Solar Energy, Volume 85, Issue 7, July 2011, Pages 1479-1487.
11. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П., Теплопроводность смесей и композиционных материалов, Л., Энергия, 1974, 264 с.
12. Варгафтик Н.Б., Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей, М., Наука, 1972, 720 с.

УДК 536.212

АНИЗОТРОПНОСТЬ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ANISOTROPIC THERMAL INSULATION

Галина Ивановна Первак
Galina I. Pervak

*Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: dekanat_fitae@mail.ru)*

Аннотация: Рассмотрены некоторые особенности свойств теплоизоляции трубопроводов, в частности такие как изотропность и анизотропность и их влияние на коэффициент и процесс теплопроводности, рассмотрены особенности теплопереноса в пористых материалах.

Abstract: Some features of the thermal insulation properties of pipelines, in particular, such as isotropy and anisotropy and their effect on the coefficient and process of heat conduction, are considered, the features of heat transfer in porous materials are considered.

Ключевые слова: теплопроводность, изотропность, анизотропность, пористые среды.

Keywords: thermal conductivity, isotropy, anisotropy, porous media.

В устройстве теплопровода важное значение имеет тепловая изоляция, от качества которой зависят величина тепловых потерь, его долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость. При соответствующем качестве изоляционных материалов и технологии изготовления тепловая изоляция может одновременно выполнять роль антикоррозионной защиты наружной поверхности стального трубопровода. К таким материалам можно отнести полиуретан и производные на его основе – полимербетон и бион. К достоинствам изоляции нужно отнести такие её свойства, как низкая теплопроводность (в сухом состоянии и при естественной влажности), малое водопоглощение, небольшая высота капиллярного подъема жидкой влаги, механическая прочность, малая коррозионная активность, щелочная реакция среды. В связи с этим выбор теплоизоляции имеет большое значение для энергетики. Ежегодные тепловые потери оцениваются в 800 млн ГДж/год, т.е. в 8% количества передаваемой теплоты. Даже с учетом эффекта теплофикации расход топлива на покрытие теплопотерь составляет 18 млн т топлива в год в условном исчислении. При снижении теплопотерь вдвое при применении современных изоляционных материалов можно получить экономию 9 млн т топлива в пересчете на условное. Тепловая изоляция облегчает обслуживание оборудования теплопроводов вследствие понижения температуры воздуха в подземных камерах и проходных каналах, устраняет опасность ожогов обслуживающего персонала, уменьшается падение температуры теплоносителя вдоль теплопровода, что повышает качество, экономичность и надежность теплоснабжения.

Теплопроводность - молекулярный перенос теплоты в теплоизоляции трубопроводов, обусловленный переменностью температуры в окружающем пространстве (если теплопровод проложен бесканально в грунт и имеет глубокое заложение, то в расчете принимается температура грунта, мелкое - температура воздуха над поверхностью земли, если в канале – температура воздуха в канале), т.е. коэффициент теплопроводности характеризует способность теплоизоляции проводить тепло. Процесс теплопроводности возможен только при условии, если в различных точках тепловой изоляции теплопровода температура неодинакова и процесс передачи теплоты сопровождается изменением температуры в пространстве и во времени. Коэффициент теплопроводности физический параметр, зависящий от температуры, давления, вида изоляционного материала, определяется

экспериментально и численно равен количеству теплоты, которое проходит в единицу времени через единицу изотермической поверхности при температурном градиенте, равным единице. Так как изоляция может иметь различную температуру и распределение температуры внутри изоляционного слоя может быть неравномерным, то важно оценить зависимость коэффициента теплопроводности от температуры. С достаточной для практических расчетов можно принять эту зависимость линейной.

Большинство теплоизоляционных материалов имеют пористое строение и тогда применение закона Фурье является условным. Наличие пор не позволяет рассматривать изоляционные материалы как сплошную среду. Коэффициент теплопроводности пористых тел сильно зависит от их плотности: при возрастании плотности от 400 до 800 кг/м² (асбест) коэффициент теплопроводности увеличивается от 0,105 до 0,248 Вт/(мК). Эффективный коэффициент теплопроводности пористых материалов сильно зависит от влажности. Для влажного материала коэффициент теплопроводности значительно больше, чем для сухого, это объясняется конвективным переносом теплоты, возникающим из-за капиллярного движения воды внутри пористого материала и тем, что абсорбционно связанная влага имеет другие характеристики по сравнению со свободной водой. Основная зависимость – это общее дифференциальное уравнение теплопроводности, интегрируя которое можно получить аналитическую зависимость между величинами для всей области интегрирования и всего рассматриваемого промежутка времени. Чаще всего применяются допущения: изоляция однородна и изотропна, физические параметры постоянны, деформация, связанная с изменением температуры очень мала по сравнению с самим объектом, внутренние источники теплоты в изоляции распределены равномерно. В основу вывода дифференциального уравнения теплопроводности положен закон сохранения энергии. В дифференциальных уравнениях теплопроводности и уравнениях изменения внутренней энергии или энтальпии вещества, полученные для изотропных тел коэффициент теплопроводности не зависит от направления теплового потока. В этом случае вектор плотности теплового потока в соответствии с законом Фурье направлен по нормали к изотермической поверхности. Однако ряд технически важных изоляционных материалов имеют теплопроводность, заметно зависящую от направления и такие среды называют анизотропными. В таких изоляционных материалах процесс переноса теплоты более сложный, направление плотности теплового потока определяется тензором теплопроводности, и при этом существуют направления по которым коэффициент теплопроводности и плотность теплового потока принимают максимальное и минимальное значения. Т.е. вектор плотности теплового потока не совпадает с направлением градиента температур, т.е. существует два направления и коэффициент теплопроводности, и плотности потока будут принимать максимальные и минимальные значения и на угол относительно друг друга. Для изотропной среды дифференциальное уравнение теплопроводности переходит в двумерное уравнение плотности теплового потока

Вывод: Выбор толщины изоляционного слоя определяется техническими и технико-экономическими соображениями. На основании технических требований определяется предельная минимальная толщина тепловой изоляции. Вопрос о целесообразности увеличения толщины и повышения эффективности тепловой изоляции решается технико-экономическим расчетом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел Теплопередача. –М.,Энергоиздат, 1981 г., 4-е изд.
2. Е.Я. Соколов Теплофикация тепловые сети.- М. Издательство МЭИ, 2001 г., 7-е изд.

УДК 66.0:666.3.016:546:546.05

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПЕКАЮЩЕЙ ДОБАВКИ LiF НА СВОЙСТВА КЕРАМИКИ ИЗ АЛЮМОМАГНИЕВОЙ ШПИНЕЛИ
INVESTIGATION OF THE INFLUENCE LiF SINTERING ADDITIVE ON THE PROPERTIES OF MAGNESIUM ALUMINATE SPINEL CERAMICS

Марина Олеговна Сенина, Дмитрий Олегович Лемешев, Мария Сергеевна Педченко
Marina O. Senina, Dmitriy O. Lemeshev, Maria S. Pedchenko

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва
D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: snnmarina@rambler.ru, diolem@muctr.ru, pesenkatalor@gmail.com)

Аннотация: Рассмотрена актуальность разработки технологии создания прозрачной керамики на основе алюмомагниево-шпинели. Методом обратного соосаждения получен прекурсор шпинели. Показано влияние фазового состава порошка шпинели и спекающей добавки на свойства керамики.

Abstract: The relevance of the development of technology for creating transparent ceramics based on aluminum magnesium spinel were considered. The spinel precursor has been obtained by the method of reverse co-precipitation. The influence of the phase composition of the spinel powder and the sintering additive on the properties of ceramics is shown.

Ключевые слова: прозрачная керамика, оптическая керамика, алюмомагниево-шпинель, синтез шпинели, спекающие добавки.

Keywords: transparent ceramics, optical ceramics, magnesium-aluminate spinel, spinel synthesis, sintering additives.

В современных технологиях все больше внимания уделяется вопросу создания материалов, которые обладают целым комплексом функциональных свойств. Интерес представляют поликристаллические материалы со специальными свойствами, например, обладающие прозрачностью в определенном спектральном диапазоне. Такие изделия, помимо прозрачности, должны также иметь высокие механические показатели.

В данном направлении на настоящий момент достаточно хорошо изучены технологии создания оптически прозрачной керамики, в частности из оксинитрида алюминия и поликристаллического оксида алюминия.

Вышеуказанная керамика обладает высокими эксплуатационными показателями (таблица 1), однако технология ее изготовления является энергозатратной и дорогостоящей, так как для получения требуется использования процессов горячего прессования (ГП) и горячего изостатического прессования (ГИП) при высоких температурах.

Таблица 1 – Физические свойства некоторых керамических материалов [1].

| Материал | Прочность, МПа | Модуль упругости, ГПа | Плотность, г/см ³ | Температура плавления, К |
|----------|----------------|-----------------------|------------------------------|--------------------------|
| Алон | 300 | 323 | 3,68 | 2425 |
| Сапфир | 700 | 345-386 | 3,98 | 2300 |

На сегодняшний день прозрачная поликристаллическая керамика на основе алюмомагнезиальной шпинели (АМШ) является одним из наиболее перспективных материалов для изготовления прозрачной брони.

Алюмомагнезиальная шпинель – бинарное термодинамически устойчивое соединение с кубической кристаллической структурой. Она имеет высокий уровень светопропускания в обширном диапазоне излучений с длиной волны от 180 до 5000 нм, который включает 3

области: ультрафиолетовую (180-400 нм); видимую (400-700 нм) и инфракрасную (740-5000 нм). Шпинель имеет заметное преимущество по сравнению с поликристаллическим сапфиром и AlON в диапазоне 4500-5500 нм, области, которая имеет особое значение для поисковых систем и систем электрооптической визуализации. Также шпинель обладает высокой термостойкостью, химической стойкостью по отношению к агрессивным средам, температурой плавления выше 2100°C [2, 3]. Кроме того, керамика из MgAl₂O₄ имеет значительное преимущество перед AlON вследствие большей доступности исходных порошков и меньшей температуры горячего изостатического прессования, в процессе которого происходит спекание [4].

При синтезе шпинели с повышением температуры выше 1000 °C состав шпинелей существенно меняется. Возникает так называемая γ -нестехиометрия: алюмомагниева шпинель обогащается довольно значительным избытком Al₂O₃ [5]. Оксид алюминия обладает хорошей растворимостью в алюмомагниева шпинели с образованием широкого ряда твердых растворов от MgO·Al₂O₃ до MgO·5Al₂O₃ [6].

Получение прозрачной керамики невозможно при несоблюдении многих факторов. Одним из требований при создании прозрачного керамического материала является его монофазность, наличие же второй фазы влечет за собой отсутствие высокого уровня светопропускания в виду различия показателей преломления разных фаз и рассеяния света.

Однако, авторами работы [7] показано получение прозрачной керамики из алюмомагниева шпинели с избытком оксида алюминия (MgO·nAl₂O₃, n = 1,05–2,5). Светопропускание составило 84%. Следует отметить, что в данной работе применялось горячее изостатическое прессование.

Альтернативой процессам ГП и ГИП является спекание в вакууме без приложения давления, которое является более энергоэффективным.

В настоящей работе исследовалось спекание керамики из алюмомагниева шпинели в вакууме. Спекание керамики из алюмомагниева шпинели до практически беспористого состояния, что также является обязательным для получения прозрачного материала, невозможно без применения спекающих добавок. В качестве такой добавки был выбран фторид лития, который образует на начальных стадиях процесса расплав и тем самым интенсифицирует жидкофазное спекание, а при повышении температуры испаряется.

Исходными компонентами являлись магний азотнокислый 6-водн. по ГОСТ 11088-75, алюминий азотнокислый 9-водн. по ГОСТ 3757-75, литий фтористый по ТУ 6-09-3529-78, аммиак водный по ГОСТ 24147-80.

Предварительный синтез порошка MgAl₂O₄ осуществлялся методом обратного соосаждения нитратов магния и алюминия в раствор осадителя с последующей термообработкой. Добавку LiF в количестве от 0,5 до 3,5 мас.% вводили в шихту сухим способом в планетарной мельнице в течение 0,5 ч.

Заготовки керамики формовали методом полусухого прессования при давлении 100 МПа. Обжиг производился в вакууме при температуре 1650 °C с выдержкой при максимальной температуре 3 ч.

Основной фазой порошка, полученного после прокаливания прекурсора является фаза алюмомагниева шпинели. На штрих-рентгенограмме (рисунок 1) присутствуют также пики, соответствующие фазам оксида алюминия и оксида магния. Содержание посторонних фаз в шпинели незначительное, о чем свидетельствует низкая интенсивность пиков. Поэтому данный порошок может быть применим при дальнейшем получении прозрачного материала.

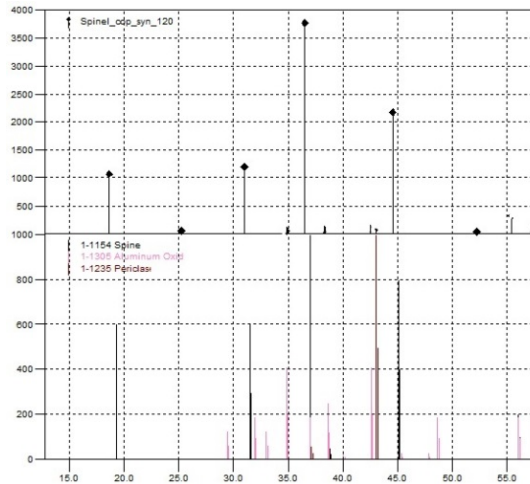


Рисунок 1 – Рентгенофазовый анализ полученного порошка.

Структура порошка шпинели изображена на рисунок 2. Порошок содержит частицы размером от 1 до 10 мкм. Порошок с данным распределением частиц по размерам может быть применен для синтеза прозрачной керамики.

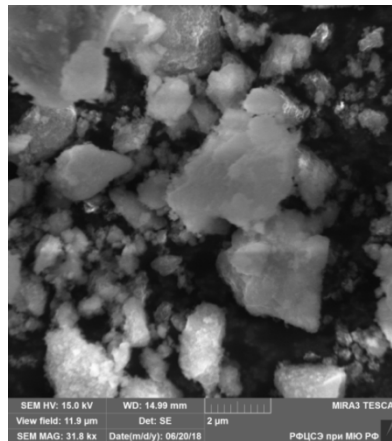


Рисунок 2 – Фотография микроструктуры полученного порошка.

При увеличении содержания добавки наблюдается уплотнение материала, открытая пористость уменьшается от 31,0 % до 26,2 %, а средняя плотность увеличивается от 1,95 г/см³ до 2,52 г/см³. Это объясняется тем, что при большем количестве фторида лития образуется большее количество расплава, который интенсифицирует процесс жидкофазного спекания, способствуя лучшему сближению частиц и, как следствие, уплотнению материала. Затем при увеличении температуры данная добавки испаряется, и процесс идет по твердофазовому механизму.

На рисунке 3 представлена микроструктура образца, содержащего 3,5 мас. % LiF.

После спекания материал образован зернами со структурой, близкой к кубической, размером до 5 мкм. Материал неплотносспекшийся, на фотографии СЭМ заметно присутствие пор, что может отрицательно сказываться на прозрачности изделия.

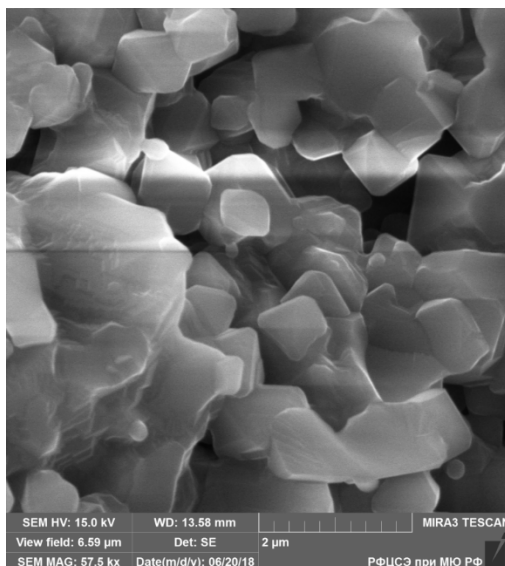


Рисунок 3 – Фотография микроструктуры образца керамики из АМШ, содержащего 3,5 мас. % LiF, обожженного при 1650 °С.

Полученные образцы обладают высокими значениями открытой пористости, что не позволяет достигать прозрачности изделия. В дальнейшем целесообразным является регулирование параметров синтеза порошка-прекурсора шпинели, а также изменение концентрации спекающей добавки.

Выводы

Таким образом, можно сказать, что метод гетерофазного совместного осаждения перспективен для получения дисперсного порошка алюмомагниево-шпинели, пригодного для создания прозрачной керамики.

Изучено влияние испаряющейся добавки фторида лития на свойства керамики на основе алюмомагниево-шпинели. Увеличение концентрации LiF с 0,5 до 3,5 мас. % позволяет получать более плотный материал. Однако, полученная керамика обладает высоким значением открытой пористости (26,2 %) и низким значением средней плотности (2,52 г/см³) для создания прозрачной керамики, целесообразным является рассмотрение влияния более высокой концентрации данной спекающей добавки на свойства изделий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00507.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Suárez M., Fernández-Camacho A., Torrecillas R., Menéndez J. L. Sintering to transparency of polycrystalline ceramic materials // *Sintering of Ceramics - New Emerging Techniques*. 2012. P. 527-552.
2. Павлюкова Л.Т., Лукин Е.С., Попова Н.А. Прозрачная керамика из алюмомагнезиальной шпинели // Тезисы докладов «VII конкурс проектов молодых ученых». 2013. с. 28-29.
3. Выдрик Г.А., Соловьева Т.В., Харитонов Ф.Я. Прозрачная керамика // М.: Энергия. 1980. С. 97.
4. Бхатнагара А. Легкие баллистические материалы. М.: «Техносфера». 2011. 392 с.
5. Ковтуненко П.В. Влияние γ -нестехиометрии на обращение шпинели. // *Стекло и керамика*. 1997. №8. С. 12 – 17.
6. Panda P. C., Raj R. Kinetics of Precipitation of α -Al₂O₃ in Polycrystalline Supersaturated MgO 2Al₂O₃ Spinel Solid Solution // *Journal of the American Ceramic Society*. – 1986. – Vol. 69. - №5. – P. 365-373.
7. Hana D., Zhanga J., Liud P., Lia G., Ane L., Wanga S. Preparation of high-quality transparent Al-rich spinel ceramics by reactive sintering // *Ceramics International*. 2018. Vol. 44. №3. P. 3189-3194.

УДК 613.2

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ В
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ENERGY SAVING AND INCREASE OF EFFICIENCY IN TECHNOLOGICAL
PROCESSES OF THE OIL AND GAS INDUSTRY OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

**Холида Исматовна Умарова
Kholida I. Umarova**

*АО «O'ZLITINEFTGAZ»(Промышленная и экологическая безопасность),
Узбекистан, Ташкент
JSC «O'ZLITINEFTGAZ» (Industrial and ecological safety), Uzbekistan, Tashkent.
(e-mail: ecolog@liting.uz)*

Аннотация: Рассмотрены особенности работы газотурбинной электростанции, ее эффективности в технологических процессах, приведены результаты расчетов при практическом применении газотурбинной электростанции.

Abstract: The features of the gas turbine power plant, its efficiency in technological processes are considered, the results of calculations in the practical application of the gas turbine power plant are presented.

Ключевые слова: Нефтегазодобывающая отрасль, попутный нефтяной газ, газотурбинная электростанция.

Keywords: Oil and gas mining industry, associated petroleum gas, gas turbine power station.

Узбекистан – страна с активно развивающейся экономикой. Особую роль в экономике Узбекистана играет нефтегазодобывающая отрасль.

Нам известно, что при добыче нефти и газа в процессе последующей их стабилизации на промыслах, при подготовке к дальнейшему транспорту, выделяются попутные нефтяные газы. Существующие технологии сбора и подготовки тяжелых углеводородов не позволяет утилизировать попутные нефтяные газы, поэтому они сжигаются на факелах. Так при добыче нефти теряется почти 1/3 добытого газа и остро назревает проблема его утилизации. Разработка месторождений Республики Узбекистан сопровождается техногенным воздействием на окружающую природную среду. Одним из основных источников загрязнения при разработке месторождений являются продукты от сжигания попутного газа в факелах, в связи с этим с экологической точки зрения утилизация попутных газов на нефтегазовых месторождениях становится необходимой и важной задачей.

Согласно данным компании «Узбекнефтегаз», при объемах добычи газа на уровне 60 млрд. м³ ежегодно в факелах сжигается более 1,5 млрд. м³. За последние четыре года объем сжигаемых попутных нефтяных газов удалось сократить на 3,5 миллиарда кубометров за счет строительства дожимных компрессорных станций и систем сбора попутных нефтяных газов, что отражено на диаграмме, представленной ниже (рисунок 1).

С целью сокращения сжигания попутных нефтяных газов для выработки электроэнергии, возможно, использовать мини газотурбинные электростанции, где сырьевой базой будут являться попутные нефтяные газы, сбрасываемые в настоящий момент на факелы добывающих предприятий. При внедрении газотурбинных электростанций решаются проблемы, как энергоснабжения, так и утилизации попутного нефтяного газа.

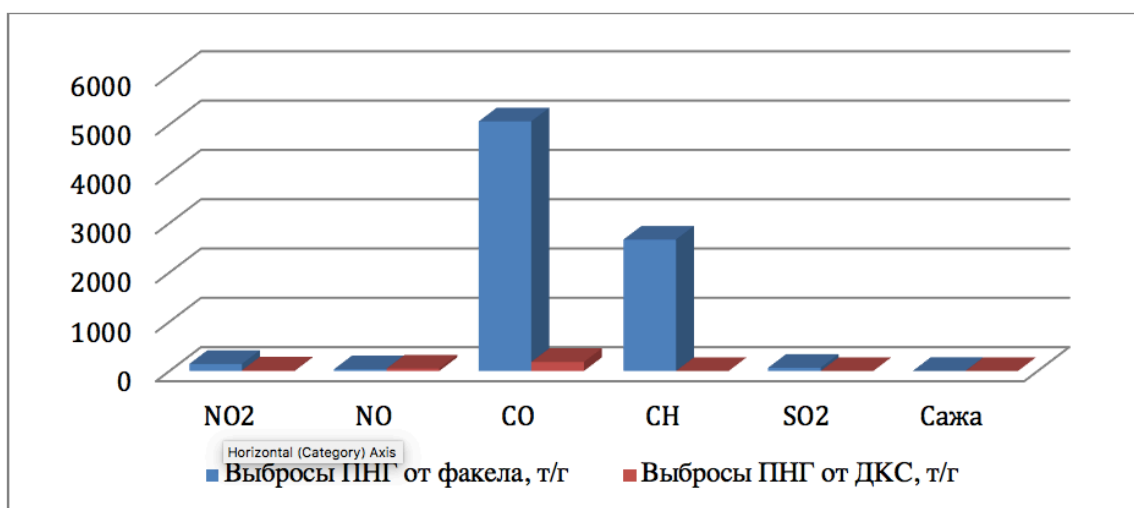


Рисунок 1 - Выбросы загрязняющих веществ при утилизации попутно-нефтяных газов

Попутный нефтяной газ является высококалорийным, экономичным и экологически чистым видом топлива. Поэтому использование попутного газа для выработки электроэнергии при добыче полезных ископаемых является рациональным методом его эксплуатации.

Газотурбинная электростанция – современная, высокотехнологичная установка, генерирующая электричество и тепловую энергию.

Основу газотурбинной электростанции составляют один или несколько газотурбинных двигателей – силовых агрегатов, механически связанных с электрогенератором и объединенных системой управления в единый энергетический комплекс. Газотурбинная электростанция может иметь электрическую мощность от двадцати киловатт до сотен мегаватт. Газотурбинная электростанция способна отдавать потребителю значительное количество тепловой энергии – с коэффициентом $\sim 1:2$ по отношению к электрической мощности.

Сначала газотурбинные электростанции появились как станции, работающие на продуктах подземной газификации углей. Первая такая Газотурбинная электростанция в СССР – Шатская буроголивая подземногазовая электростанция (Тульская обл.) – была сооружена в районе залегания высокозольного и влажного бурого угля. Угольные газотурбинные электростанции широкого применения не получили главным образом из-за быстрого износа лопаток газовых турбин под воздействием содержащихся в газах частиц угля.

В 50-60-х гг. XX века в мировой практике получили широкое распространение газотурбинные электростанции с газотурбинными двигателями. Их суммарная мощность к 1970 превысила 2000 Мвт. Так, в США и Великобритании тепловые блоки мощностью свыше 500 Мвт, как правило, снабжаются газотурбинными установками мощностью 25-35 Мвт для покрытия нагрузок в часы «пик». Получили также распространение автоматические газотурбинные электростанции на базе авиационных турбин с 2-4 газовыми турбоагрегатами (каждый мощностью 10-20 Мвт).

Конструктивно газотурбинные электростанции могут быть размещены на полуприцепах-фургонах или железнодорожных платформах и использованы в местах новых разрабатываемых месторождений полезных ископаемых, особенно в районах месторождений нефти, где газотурбинные электростанции могут работать на попутном газе, или в районах строительства в качестве временных электростанций. Газотурбинные электростанции могут также служить резервными источниками мощности, включаемыми в случае возникновения в энергосистемах аварийных ситуаций. Газотурбинные электростанции, предназначенные для покрытия нагрузок в часы «пик», имеют облегченную тепловую схему безрегенерационного

типа, КПД порядка 20-25%; стоимость установленного КВТ таких электростанций составляет примерно 50% стоимости установленного КВТ современной ТЭС.

Газотурбинные электростанции имеют, как правило, высокую степень автоматизации и дистанционное управление. Пуск станции и приём нагрузки, а также работа вспомогательного оборудования (например, пополнение топливных и масляных баков) обычно автоматизируются.

Передвижные газотурбинные электростанции применяются редко, т. к. имеют низкий КПД и относительно высокую стоимость оборудования по сравнению, например, с дизельными электростанциями.

Основные преимущества газотурбинных электростанций:

- ГТЭС весьма надежны. В среднем, длительность работы основных узлов без капитального ремонта составляет до 100-130 тыс. часов.

- КПД самой газотурбинной установки составляет порядка 51%, а при утилизации уходящих газов, общий КПД достигает уже 93%

- Газотурбинные электростанции, как уже было отмечено выше, имеют довольно небольшие размеры, что значительно уменьшает срок строительства, и, соответственно, позволяет им быстро окупаться.

- Газотурбинные электростанции довольно экологичны, чему в последнее время уделяется все больше внимания. Применение современных газотурбинных установок позволяет утилизировать попутно нефтяной газ с содержанием сероводорода до 4-7%.

- ГТЭС могут работать в полностью автоматическом режиме, а возможность полной диагностики состояния оборудования или основных узлов станции, простота управления и, соответственно, минимальное количество обслуживающего персонала делают их наиболее оптимальным решением в самых различных ситуациях.

Учитывая актуальность проблем энергосбережения, экономии ресурсов, повышения энергоэффективности, реализации программы развития малой энергетики на месторождениях Республики Узбекистан строительство газотурбинных и газопоршневых электростанций становится необходимой и одной из основных и важных задач с экологической точки зрения. Примером могут следующие месторождения - Янги Каратепа, Туртсари, Шеркент, где была внедрена реализация программы развития малой энергетики с применением ГТЭС. Результаты до и после реализации этих проектов приведены на рисунках 2 и 3.

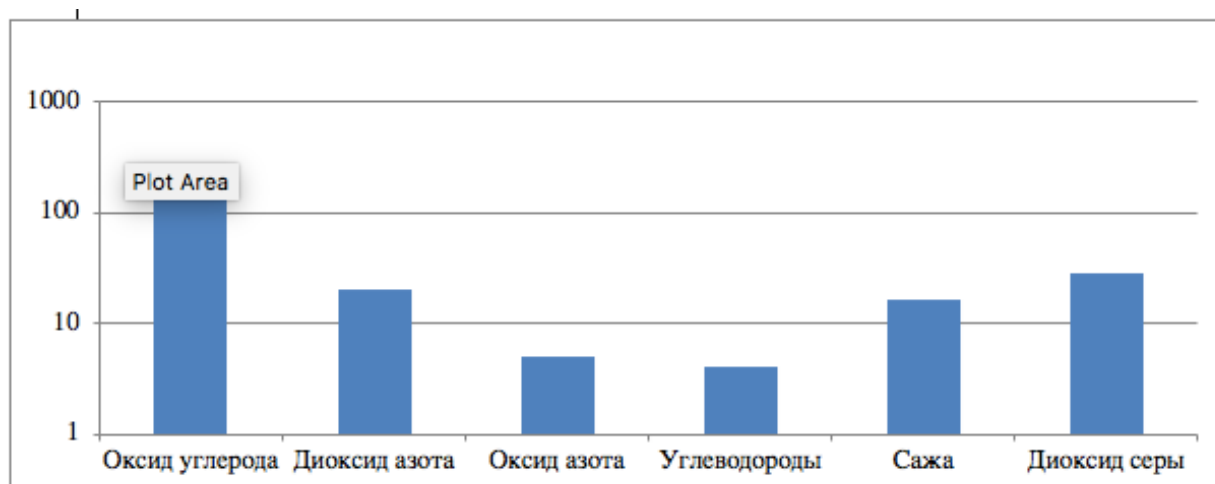


Рисунок 2 – Выбросы загрязняющих веществ при сжигания попутный нефтяной газ на промыслах РУз

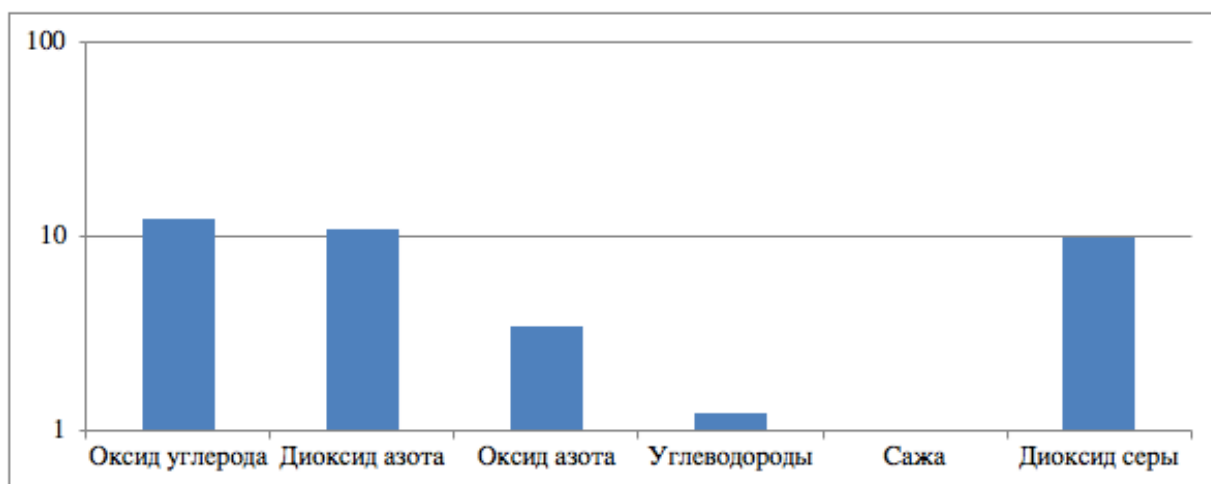


Рисунок 3 – Выбросы загрязняющих веществ на промыслах РУз при утилизации попутный нефтяной газ с помощью газотурбинной электростанции

Выводы

Выработанная собственными электростанциями электроэнергия будет замещать затраты электроэнергии из общей энергетической сети Узбекистана, тем самым обеспечивая снижение нагрузки на сеть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудаченко А.В., Чухарева Н.Б., Байкин С.С., Газотурбинные установки. Учебное пособие. Томский политехнический университет, 2008. 137 с.
2. Могильницкий И.П., Стешенко В.Н., Газотурбинные установки в нефтяной и газовой промышленности. Изд-во «Недра», М., 1971, 160 с.
3. Антипов В.Н. Утилизация нефтяного газа. М.: Недра, 1983. 160 с.

УДК 677.023

ПРИМЕНЕНИЕ ХОЛОДНОГО ШЛИХТОВАНИЯ ОСНОВНЫХ НИТЕЙ ПРИ ВЫРАБОТКЕ ПОЛУШЕРСТЯНОЙ КОСТЮМНОЙ ТКАНИ THE APPLICATION OF COLD SLEEPING OF THE MAIN THREADS WHEN DEVELOPING A HEELED WAIST COSTUME FABRIC

Лилия Александровна Ярмолик*, Екатерина Михайловна Лобацкая
Liliya Alexandrovna Yarmolik*, Ekaterina Mikhailovna Lobatskaya****

*Витебский Государственный Технологический Университет,
Республика Беларусь, Витебск
Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus, Vitebsk
(e-mail: lilya.rigik@bk.ru, lem76@mail.ru)*

Анотация: Рассмотрены особенности применения холодного шлихтования основных нитей при выработке полушерстяной костюмной ткани, приведены результаты экспериментального исследования изменения обрывности основных нитей в процессе шлихтования и физико-механических свойств наработанных тканей из ошлихтованных основ.

Anotation: The features of the use of cold dressing of the main threads in the production of half-woolen suit fabric are considered, the results of an experimental study of changes in the breakage of the main threads in the process of dressing and the physical and mechanical properties of the accumulated fabrics from polished bases are given.

Ключевые слова: полушерстяные ткани, холодное шлихтование, нити основы, обрывность, физико-механические свойства тканей.

Key words: wool blend fabrics, cold dressing, warp threads, breakage, physical and mechanical properties of fabrics.

Шерстяные ткани на рынке Республики Беларусь представлены, в основном, ассортиментом, вырабатываемым на отечественных предприятиях. В настоящее время в Республике Беларусь большинство шерстяных тканей выпускается с использованием синтетических волокон и нитей. Их использование придает тканям красивый внешний вид, повышенную износостойкость и формоустойчивость, устойчивую окраску к действию светопогоды и трения. Процесс подготовки нитей к ткачеству включает в себя ряд энергоемких операций, которые увеличивают стоимость готовых материалов. Поэтому оптимизация процессов подготовительного производства при переработке полушерстяной пряжи на отечественных предприятиях, является актуальной задачей. Работа выполнялась по заданию предприятия ОАО «Камволь» г. Минск, и связана с оптимизацией процесса шлихтования основных нитей.

Технологический процесс шлихтования основы является многостадийным, со сложными взаимосвязями многих параметров. Установка и поддержание параметров шлихтования подчинены необходимости получения ошлихтованных основ высокого качества. Параметры шлихтования выбираются в зависимости от рода волокна, линейной плотности и структуры нитей, строения и назначения ткани, состава шлихты и типа ткацкого станка. На сегодняшний день стал популярным процесс именно холодного шлихтования (вощения). По сравнению с горячим шлихтованием, он имеет ряд преимуществ по экономии энергии и материальных ресурсов, с сохранением качества выпускаемых тканей на высоком уровне, что играет важную роль в процессе производства. [1]

Для эксперимента был выбран образец полушерстяной костюмной полушерстяной из кручёной пряжи гребенной системы прядения 21*2 текс в основе и утке. Эти полушерстяные нити обладают достаточно высокой прочностью, большой упругостью и низкой гигроскопичностью.

Эксперимент проводился на шлихтовальной машине фирмы «Karl Mayer» SMR–SP–2200/1000. Было предложено вместо шлихтования нитей основы с рецептом шлихты включающим: тубофлекс SP -80 (аркофил ST, винарол ST GR), глицерин, антистатик, пеногаситель (базовый вариант); применить холодное шлихтование с применением: гликовакс С20 (опытный вариант). Скорость и вытяжка при этом остались прежними. Сушильные барабаны были холодными, главный клеевой насос отключён. Истинный приклей составил у опытного варианта основы прошедшего холодное вощение 0,6%, у базового варианта - 1,2 %.

За счёт того, что сушильные барабаны оставались холодными, влажность основы повысилась, а обрывность в процессе шлихтования уменьшилась с 1,8 до 0,6 обрывов на 10⁶ метров основ, что привело к уменьшению отходов. Использование холодного вощения не повлияло на обрывность нитей основы в ткачестве, она осталась прежней.

Наработка образцов тканей с использованием в качестве основы нитей, прошедших холодное шлихтование, и базового варианта основ проводилась на ткацком станке Picanol OptiMax 190 с рапирами свободного полета FM. В качестве зевобразовательного механизма использовался кулачковый механизм с 8 ремизками.

После отделки тканей в производственной лаборатории ОАО «Камволь» были проведены по стандартным методикам исследования физико-механических свойств готовых полушерстяных тканей полученных из основ прошедших горячее и холодное шлихтование. [2]

Результаты испытаний физико-механических свойств готовых тканей представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Физико-механические свойства готовых тканей

| Показатели | Единицы измерения | Базовый вариант | Опытный вариант | Нормируемые значения показателей готовых тканей по данным ОАО «Камволь» |
|--|-------------------|-----------------|-----------------|---|
| Ширина ткани | см | 152,7 | 152,5 | 152±2 |
| Плотность нитей: по основе; по утку | нит/10 см | 432 | 435 | 432±4 |
| | | 223 | 224 | 222±4 |
| Поверхностная плотность | г/м ² | 288 | 284 | 288±12 |
| Разрывная нагрузка: по основе; по утку | даН | 41,5 | 39,2 | ≥39 |
| | | 32,5 | 33,8 | ≥29 |
| Стойкость ткани к истиранию | тыс. циклов | 6,9 | 7,0 | ≥4 |

Как видно из результатов исследований физико-механических свойств готовых тканей, представленных в таблице 1, использование холодного вождения нитей основы повлекло незначительное уменьшение ширины ткани, снижение разрывной нагрузки по основе, а так же произошло увеличение стойкости ткани к истиранию. Поверхностная плотность также незначительно уменьшилась, а плотность нитей по основе и по утку на 10 см ткани немного увеличилась..

Можно сделать вывод, что применение холодного шлихтования нитей основы вместо горячего шлихтования не повлекло ухудшение свойств готовой ткани, все показатели физико-механических свойств готовых полушерстяных костюмных тканей, находятся в пределах нормируемых значений.

В результате исследований было выявлено, что некоторые физико-механические показатели готовой ткани опытного образца (разрывная нагрузка, плотность нитей на 10 см, поверхностная плотность, ширина, поверхностная плотность) изменились, но при этом остались в нормируемых пределах. Уменьшилась обрывность нитей основы в процессе холодного шлихтования (вождения) и количество отходов в шлихтовании. Увеличилась стойкость к истиранию. Обрывность в ткачестве при этом осталась прежней.

За счёт более простого рецепта шлихты, отсутствия нагрева сушильных барабанов так же снизились затраты на вспомогательные материалы и электроэнергию, что повлекло снижение себестоимости вырабатываемой костюмной полушерстяной ткани.

Выводы

Проведено экспериментальное исследования влияния холодного шлихтования на обрывность нитей основы, проведена наработка тканей из ошлихтованных основ в производственных условиях ОАО «Камволь», в лаборатории предприятия проведено исследование физико-механических свойств наработанных образцов готовых тканей полученных из основ прошедших горячее и холодное шлихтование, которое показало, что показатели физико-механических свойств находятся в нормируемых пределах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапехо, С. А., Лобацкая Е.М. Влияние оптимизации процесса шлихтования на качество льняной ткани // Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг: сб. науч. тр. : науч. электрон. изд. Шахты : ИСОиП (филиал) ДГТУ, 2018. С. 50–53.
2. Лобацкая, О. В. Материаловедение : учебное пособие для студентов спец. «Конструирование и технология швейных изделий» учреждений, обеспечивающих получение высшего образования / О. В. Лобацкая, Е. М. Лобацкая ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2012. – 323 с.

УДК 663.55

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ
АПРОТОННЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ
OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF REGENERATION OF APROTIC
SOLVENTS FOR ENERGY AND RESOURCE SAVING**

**Андрей Геннадьевич Харитонович*, Леонид Александрович Щербина*,
Людмила Николаевна Левьюк*, Константин Юрьевич Устинов**,
Владимир Александрович Бондаренко**
Andrey G. Kharytanovich*, Leonid A. Shcherbina*, Ludmila N. Leviuk*, Konstantin Y.
Ustinou**, Vladimir A. Bondarenko****

**Могилевский государственный университет продовольствия, Беларусь, Могилев*

**Mogilev State University of Food Technologies, Belarus, Mogilev
(e-mail: htvms@tut.by)*

***Завод «Полимир» ОАО «Нафтан», Беларусь, Новополоцк*

***Plant «Polymir» OJSC «Naftan», Belarus, Novopolotsk*

Аннотация: Проведен сравнительный анализ энергетических затрат на проведение различных вариантов процессов регенерации апротонных растворителей, используемых при получении полиакрилонитрильных волокон.

Abstract: A comparative analysis of energy costs in the implementation of various options for the regeneration of aprotic solvents used in the production of polyacrylonitrile fibers was carried out by the method of a priori analysis.

Ключевые слова: моделирование, диметилформаид, диметилсульфоксид, регенерация.

Keywords: modeling, dimethylformamide, dimethylsulfoxide, regeneration.

Снижение энергопотребления является актуально при реализации любого технологического процесса. Производство химических волокон не является исключением. Особенно актуелен этот вопрос при получении волокон по мокрому методу, предусматривающему использование растворителей для получения прядильных растворов. Поэтому, в отличие от расплавного метода, мокрому методу присуще наличие энергоемкой технологической стадии регенерации растворителя из осадительных ванн и промывных жидкостей, в которых формируется волокно и удаляется из него растворитель.

В Республике Беларусь на Новополоцком заводе «Полимир» ОАО «Нафтан» реализован технологический процесс получения полиакрилонитрильного (ПАН) волокна по мокрому методу с использованием в качестве растворителя диметилформаида (ДМФ).

Основным недостатком ДМФ является невысокая скорость сополимеризации акрилонитрила (АН), метилакрилата (МА) и 2-акриламид-2-метилпропансульфонокислоты (АМПС) и сложность интенсификации этого процесса с сохранением молекулярно-массовых показателей волокнообразующего сополимера. Другим существенным недостатком диметилформаида является его более высокая токсичность.

Альтернативой диметилформаиду является диметилсульфоксид (ДМСО), не имеющий указанных недостатков. Однако более высокая температура кипения диметилсульфоксида (189°C), по сравнению с температурой кипения диметилформаида (153°C), может явиться потенциальной причиной более высоких энергетических затрат на регенерацию диметилсульфоксида из его водных технологических растворов.

Регенерация органических апротонных растворителей ДМФ и ДМСО из систем «вода – апротонный растворитель» может быть проведена с использованием аналогичных технологических подходов и оборудования. По общепринятой в промышленности химических

волокон технологической схеме процесс регенерации апротонного растворителя из водных растворов чаще всего состоит из нескольких стадий. Первая стадия – упаривание воды при нагревании под вакуумом в концентрационной колонне до остаточного содержания воды в системе около 20% (масс.). Далее следует стадия ректификации органического растворителя в двух последовательных ректификационных колоннах до содержания воды в растворителе около 0,05% (масс.).

С целью априорного анализа процесса регенерации апротонных растворителей было составлено его математическое описание. При составлении математической модели были использованы теплофизические и другие свойства системы «вода – апротонный растворитель», представленные в литературе и определенные экспериментально. На основе разработанной модели проведен сравнительный анализ энергетических затрат при реализации различных режимов регенерации ДМФ и ДМСО.

В качестве примера, в данной работе представлены результаты моделирования при следующих исходных условиях:

- соотношение воды и апротонного растворителя в подаваемой на регенерацию смеси «вода – апротонный растворитель» составляет 40:60;
- количество смеси «вода – апротонный растворитель», подаваемой на регенерацию в концентрационную колонну, составляет 30, 35 или 40 т/час;
- содержание воды в смеси «вода – апротонный растворитель» на выходе из концентрационной колонны и, следовательно, подаваемой из нее в две последовательные ректификационные колонны, составляет 10, 15 или 20% (масс.);
- содержание воды в апротонном растворителе на выходе из последней ректификационной колонны (регенерированном растворителе) составляет от 0,05 до 3,00% (масс.).

На рисунках 1 и 2 представлены результаты оценки общего расхода тепла на процесс регенерации ДМФ и ДМСО, соответственно, в пересчете на одну тонну полиакрилонитрильного волокна при различной подаче смеси «вода – апротонный растворитель» на упаривание, различном остаточном содержании воды в упаренной смеси, поступающей на стадию ректификации и различном остаточном содержании воды в регенерированном растворителе.

Данные, представленные на рисунках 1 и 2, свидетельствуют о том, что с увеличением объема смеси «вода – апротонный растворитель», подаваемой на упаривание в первую (концентрационную) колонну, а также с увеличением содержания воды в упаренной смеси, подаваемой затем в первую ректификационную колонну, расход тепла на регенерацию апротонных растворителей увеличивается.

Таким образом, по данным математического моделирования, при регенерации апротонных растворителей, для существенного сокращения энергозатрат на регенерацию, целесообразно проведение максимально возможного (в изученном диапазоне концентраций) упаривания смеси «вода – апротонный растворитель» при пониженном давлении.

В то же время, попытка увеличить содержание воды в регенерированном апротонном растворителе с 0,05 до 3,00% (масс.) дает менее ощутимый выигрыш в экономии тепла, расходуемого на регенерацию растворителя.

Проведение опытных апробаций на примере регенерации ДМФ из водно-диметилформамидных осадительных ванн, подтвердило правильность выводов, полученных на основе результатов математического моделирования, и показало возможность экономии энергии путем снижения содержания воды в ДМФ на выходе из первой (концентрационной) колонны, поступающем на последующую ректификацию.

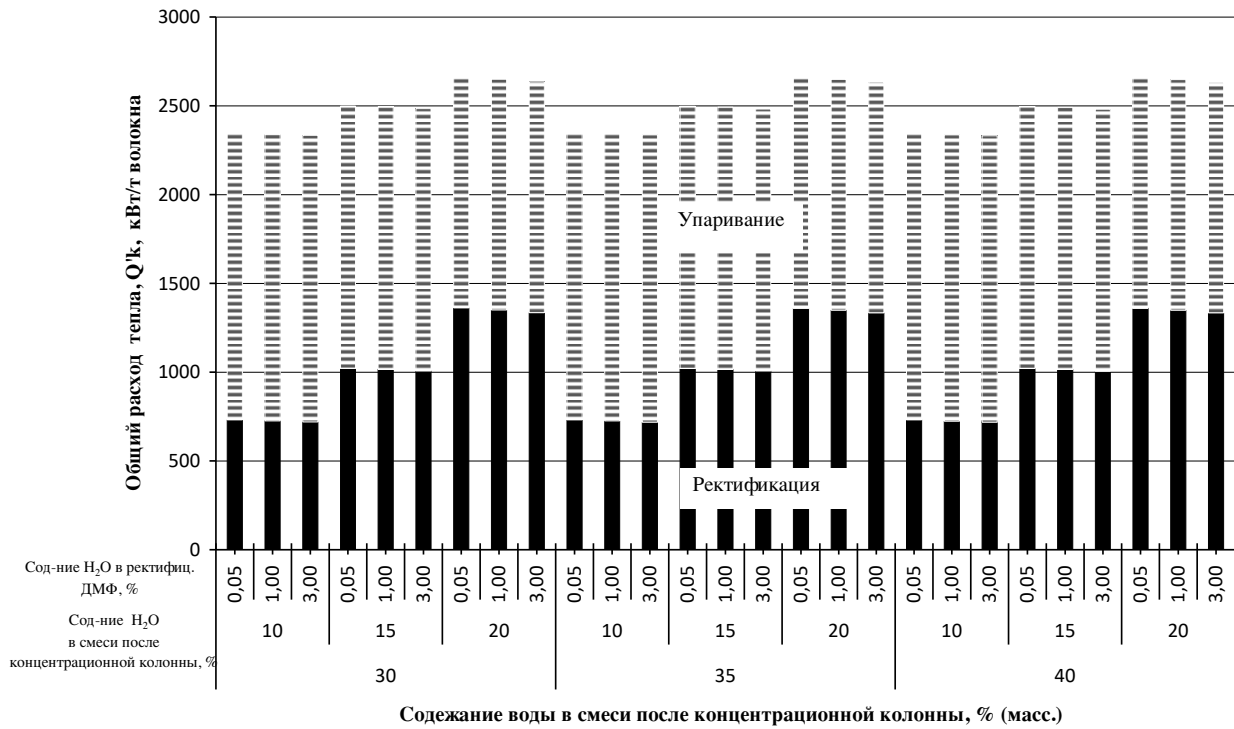


Рисунок 1 – Зависимость общего удельного расхода тепла на процесс регенерации ДМФ (в пересчете на одну тонну волокна нитрон) от режимов проведения процесса

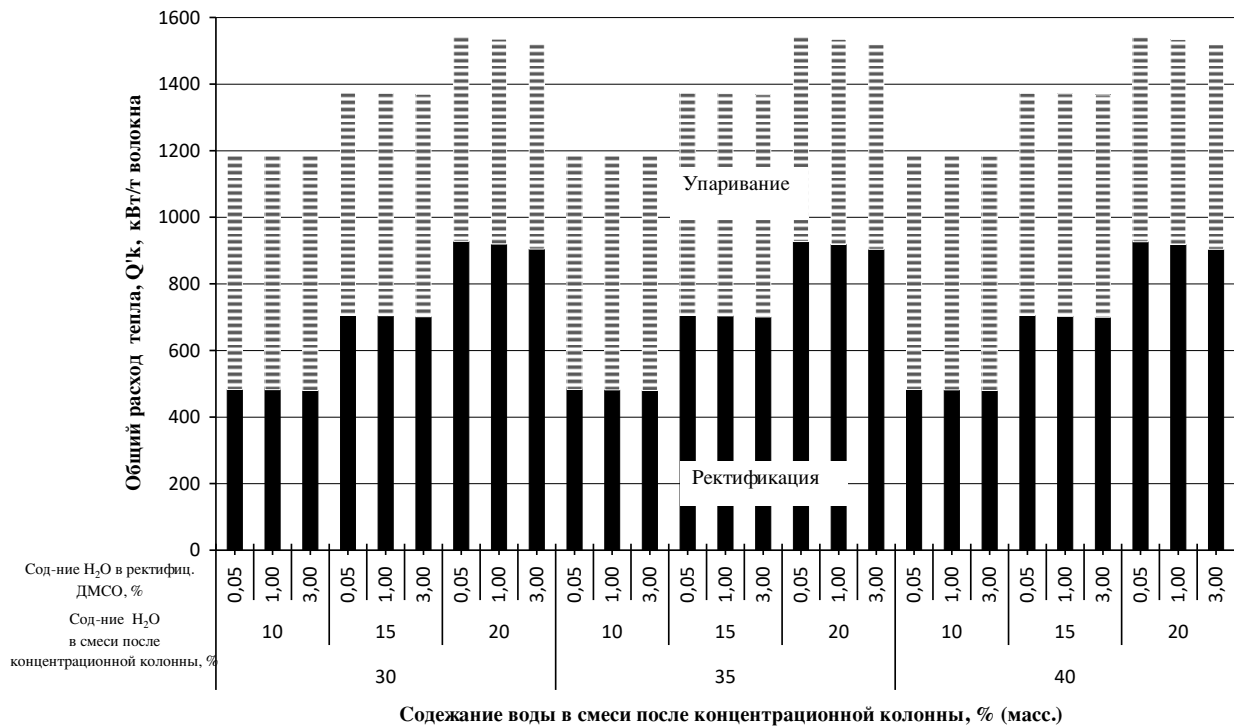


Рисунок 2 – Зависимость общего удельного расхода тепла на процесс регенерации ДМСО (в пересчете на одну тонну волокна нитрон) от режимов проведения процесса

Сопоставление удельных расходов энергии на регенерацию ДМФ и ДМСО (см. рисунки 1 и 2) показывает, что процесс регенерации диметилсульфоксида из водных растворов является энергетически существенно менее затратным, несмотря на более высокую температуру кипения диметилсульфоксида. Одной из причин этого может быть то, что ДМСО имеет несколько меньшую, по сравнению с ДМФ, удельную теплоту испарения (508,6 кДж/(кг·К) и 519 кДж/(кг·К), соответственно). Другая причина этого может быть связана с тем, что по нашим экспериментальным данным, а также данным других исследователей, в системе «вода – диметилсульфоксид» одна молекула ДМСО координирует вокруг себя только 2-3 молекулы воды, в то время как в системе «вода – диметилформамид» одна молекула ДМФ координирует до 3-4 молекул воды.

Выводы

Разработаны математические модели регенерации диметилформамида и диметилсульфоксида из их водных растворов. Методом математического моделирования оценены и подтверждены путем опытной промышленной апробации пути сокращения энергозатрат при регенерации апротонных растворителей из их водных растворов.

Результаты математического моделирования процесса регенерации апротонных растворителей из их водных растворов указывают на меньшую энергозатратность процесса регенерации диметилсульфоксида, по сравнению с регенерацией диметилформамида.

УДК 66.047.3.085.1

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ СОХРАНЕНИЯ НАТИВНЫХ СВОЙСТВ ЯГОД, ПЛОДОВ, ЛЕКАРСТВЕННЫХ И ЭФИРОНОСНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ПОДГОТОВКИ К ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ
RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR THE PROCESS OF INFRARED DRYING OF RAW MATERIALS IN AGRICULTURAL ENTERPRISES AS A TOOL FOR THE CONSERVATION FOOD PROPERTIES OF BERRIES, FRUITS, MEDICINAL PLANTS, AND OIL-BEARING CROPS TO PREPARE THEM FOR DEEP PROCESSING

Алексей Алексеевич Завалий, Владимир Степанович Паштецкий
Alexey A. Zavalii, Vladimir S. Pashtetskii

*Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма,
Россия, Республика Крым, Симферополь
FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea"
Simferopol, Republic of Crimea, Russia,
(e-mail: zavalym@mail.ru, priemnaya@niishk.ru)*

Аннотация: Разработаны технические и технологические основы реализации сохраняющей биопотенциал растительного сырья двухстадийной технологии инфракрасной сушки. Продуктом технологии являются готовые к употреблению в пищу продукты, содержащие до 80 % биологически активных веществ исходного сырья, а также насыщенные биологически активными веществами порошки растительного происхождения для производства пищевых добавок и лекарственных форм.

Abstract: We developed technical principles and technological foundations for the implementation of two-stage technology of infrared drying. This technology preserves the biological potential of raw materials. The products of this technology are ready-to-use foods that contain up to 80 % of the biologically active substances and powders of vegetable origin saturated with biologically active substances that can be used as food additives and dosage forms.

Ключевые слова: инфракрасная сушка, растительное сырье, биологически активные вещества.

Keywords: infrared drying, raw materials, biologically active substances.

Основой быстрой порчи растительного сырья или существенного уменьшения в нем в течение короткого периода времени питательной ценности и биологически активных компонентов является влага. Влага на поверхности стеблей, листьев, соцветий или плодов способствует развитию микроорганизмов и плесневых грибов, поражающих внутренние структуры растений и плодов через микротрещины на их поверхности. Внутриклеточная и межклеточная влага является благоприятной средой развития гнилостных микроорганизмов и, соответственно, процессов гниения и обеспечивает экзотермические биохимические реакции активных соединений растения, что приводит к их распаду.

Наиболее подверженным быстрой порче и снижению качественного состава является сырье, содержащее значительное количество влаги. Таким сырьем являются ягоды, фрукты, овощи, лепестки соцветий и листья растений. Например, по нашим наблюдениям до 30 % ежедневного сбора спелых ягод малины, являющихся «естественной кладовой» аскорбиновой и салициловой кислот, кетонов и флавоноидов, не подлежит транспортировке и реализации в торговой сети, а отсутствие быстрой переработки этих ягод приводит к их порче в течение суток. В Российской Федерации по сведениям ФАО ООН ежегодно производится до 150 тыс. тонн малины [1], содержащей только витамина С в среднем около 25 мг%. При суточной норме потребления витамина С человеком, составляющей в среднем 70 мг [2], и потере или порче 10 % урожая малины потери витамина С составляют не менее 70 млн. суточных норм.

Очевидной является необходимость переработки растительного сырья, обеспечивающей сохранность его нативных свойств, сразу после уборки или сбора урожая, то есть непосредственно в условиях сельскохозяйственных предприятий. Такая переработка позволяет разделить технологический процесс получения качественного пищевого продукта с высоким содержанием биологически активных веществ на две стадии: предварительная переработка в сельскохозяйственном предприятии и глубокая переработка на специализированных предприятиях.

Переработка сушкой является эффективной технологией сохранения питательной ценности и биологически активных компонентов растительного сырья, обладающей рядом преимуществ для ее применения в условиях сельскохозяйственных предприятий:

- оборудование для сушки является наиболее простым, надежным и дешёвым;
- энергетические затраты на процесс сушки ниже не менее чем в 2 раза по сравнению с затратами на хранение в устройствах искусственного холода;
- часть необходимой для сушки тепловой энергии может быть получена с использованием локальных источников энергии, например, гелионагревательных;
- сушка обеспечивает безотходную переработку сырья в виде продукта сушки и конденсата испаренной влаги как продукта для пищевой и косметической промышленности;
- масса и объем продукта сушки существенно меньше исходной массы сырья, что существенно снижает затраты на его дальнейшую переработку;
- увеличение срока сохранности, снижение массы и объема продукта снижает транспортные расходы и улучшает логистику переработки и реализации продукции.

Обеспечить высокий уровень сохранности биологического потенциала растительного сырья, экологическую безопасность процесса и продукта сушки, достаточную экономическую эффективность в условиях сельскохозяйственных предприятий позволяют устройства инфракрасной (ИК) сушки или комбинированной конвективно-инфракрасной сушки. Тепловое излучение является естественным экологически безопасным способом подвода теплоты к поверхности сырья. Возможность создавать потоки теплового излучения различной величины, изменяя только температуру источников излучения, а также малая тепловая инерционность источников обеспечивают высокую степень управляемости

процессом сушки. Передача энергии от источника инфракрасного излучения осуществляется ко всей «видимой» поверхности продукта сушки без среды-посредника. Воздух используется только для удаления испаренной влаги за пределы устройства сушки, что позволяет минимизировать его контакт с поверхностью сырья.

Недостатки устройств ИК сушки заложены в традиционных конструктивных решениях, в которых источники теплового излучения размещены над или перед поверхностью подлежащего сушке сырья (рисунок 1). Результатом такого взаимного положения источников и облучаемых поверхностей являются значительная неравномерность теплового излучения на поверхности и, как следствие, высокий уровень неравномерности сушки, большие потери теплового излучения, уходящего за пределы подлежащей тепловой обработке поверхности, значительные габаритные размеры устройств, низкая надежность устройств из-за воздействия пара испаряемой жидкости на источники излучения и отражатели.

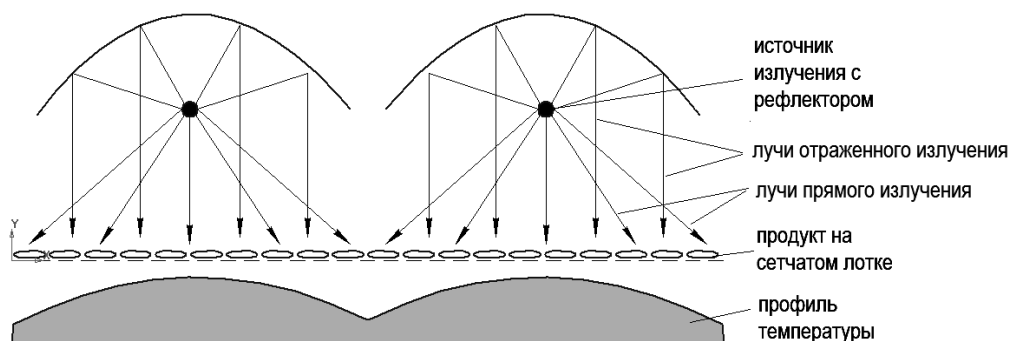


Рисунок 1 – Традиционная схема нагрева инфракрасным излучением

Для устранения этих недостатков нами предложена, обоснована и реализована идея направленного воздействия на продукт сушки отраженных от зеркальных поверхностей тепловых лучей, источниками которых являются высокотемпературные излучатели, вынесенные за пределы объема с продуктом сушки (рисунок 2) [3]. Организация рабочего объема устройства сушки и оптимизационное проектирование профилей зеркальных отражателей основаны на использовании оптико-геометрических и вычислительных моделей сложного конвективно-лучистого теплообмена.

Идея распределенного управляемого теплового облучения поверхностей продукта сушки отраженным тепловым излучением реализована в малогабаритных модулях - многоярусных устройствах шкафного типа тепловой мощностью от 1 до 5 кВт, рабочим объемом от 0,2 до 2 м³, обеспечивающих загрузку от 10 до 100 кг сырья. В устройствах обеспечивается равномерная сушка сырья, объемная производительность устройств конкурирует с устройствами конвективной сушки, потери энергии в ходе сушки не превышают 7 % при отсутствии в устройстве теплоизоляции. Затраты энергии на испарение 1 кг влаги не превышают 1,2 кВт·час независимо от размера, производительности и загрузки устройства.

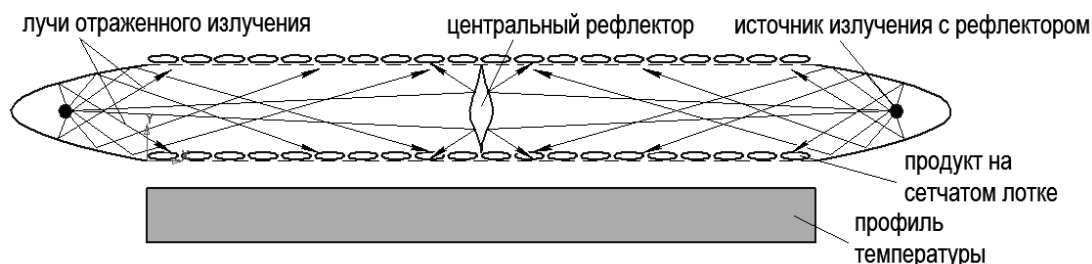


Рисунок 2 – Схема нагрева управляемым отраженным инфракрасным излучением

Основной технологией теплового воздействия излучения на продукт сушки является импульсный характер теплового облучения, задаваемый релейным способом регулирования режима сушки. Высокая эффективность импульсного воздействия инфракрасного излучения на сельскохозяйственное сырье в ходе сушки подтверждена работами С. П. Рудобашты [4, 5, 6]. Тепловой режим сушки в устройстве устанавливается по температуре высушиваемого сырья, контролируемой размещаемой в поверхностном слое сырья на время сушки термопарой диаметром 0,4 мм. Автоматическое поддержание температуры осуществляется регулятором, управляющим электронными силовыми реле подачи напряжения на источники теплового излучения – линейные галогеновые лампы накаливания. При температуре сырья 45 – 55°C время сушки составляет от 12 до 24 часов. Влажность продукта сушки составляет 9 – 14 %. Факторами, обеспечивающими высокую степень сохранности нативных свойств растительного сырья в разработанных устройствах, являются контролируемое равномерное тепловое воздействие на всю поверхность сырья и низкий уровень контакта поверхности сырья с атмосферным воздухом.

Для описанных устройств ИК сушки нами разработаны технологии и оптимальные режимы сушки растительного сырья различного вида. Сушке подлежат сырье в виде целых или нарезанных дольками плодов. Ягоды с плотной кожурой предварительно бланшируют. Установлено, что на степень сохранности биологически активных веществ сырья влияет совокупность факторов: температура сырья в ходе сушки и время теплового воздействия на сырье. Так, оптимальными для сохранения витамина С в яблоках являются температурные режимы в пределах 45 – 50°C. Время сушки при этих режимах не превышает 14 часов. Указанные режимы позволяют сохранить от 60 до 75 % витамина С, содержащегося в сырье. Дальнейшее хранение продукта сушки в бумажной таре в сухом прохладном помещении в течение 4 – 6 месяцев обеспечивает сохранность не менее 40 % витамина С исходного сырья. Анализ сохранности витамина С, а также других биологически активных веществ в малине и ежевике показал, что ИК-сушка позволяет сохранять высокую концентрацию биологически активных веществ при температурах ягод 50-55°C. Это позволяет получить продукты, которые в количестве 50 г покрывают суточную потребность организма в аскорбиновой кислоте, антоцианах и в флавонолах [7]. Выполненные сушки виноградной выжимки показали, что 100 г высушенной виноградной выжимки белоягодных сортов обеспечивает организм человека витамином С на 87 %, фенольными веществами – на 408 %; 100 г высушенной выжимки темнаягодных сортов на 147 % обеспечивает поступление витамина С, на 664 % – фенольными веществами в целом, из них антоцианами на 880 %. Полученные продукты сушки виноградной выжимки позволяют разработать основу для производства функциональных напитков [8]. Спектральный анализ полученного в ходе сушек конденсата испаренной влаги из тыквы, яблок и стевии показал наличие в нем неопределимо малого количества органических примесей в воде, что свидетельствует о высокой степени сохранения в продукте сушки нативных веществ сырья [9].

Таким образом, инфракрасная сушка растительного сырья в разработанных нами устройствах и технологиях позволяет длительно сохранять существенную долю его витаминного состава и других биологически активных веществ. Положительными качествами продукта инфракрасной сушки являются также его чистота и экологическая безопасность, продукты имеют высокие внешние кондиции и презентабельный товарный вид: насыщенный цвет, объемную форму, яркий аромат и вкус.

Для получения продукта с низким содержанием влаги (не более 3 %) нами разработано устройство ИК сушки управляемым отраженным инфракрасным излучением при пониженном давлении в рабочем объеме устройства [10]. Устройство предназначено для подготовки полученного в сельскохозяйственных предприятиях продукта сушки к дальнейшей переработке (изготовление порошков, экстракция и др.) досушиванием. Понижение давления в устройстве обеспечивает влагоудаление из продукта без контакта его поверхности с

окислительной средой атмосферы, улучшая тем самым условия сохранения биопотенциала растительного сырья.

Выводы

Разработаны технические и технологические основы реализации сохраняющей биопотенциал растительного сырья двухстадийной технологии инфракрасной сушки. Продуктом технологии являются готовые к употреблению в пищу продукты, содержащие до 80 % биологически активных веществ исходного сырья, а также насыщенные биологически активными веществами порошки растительного происхождения для производства пищевых добавок и лекарственных форм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Value of Agricultural Production. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>
2. Малина. Пищевая, биологическая ценность и диетические свойства. [Электронный ресурс]. URL: http://big-archive.ru/medicine/popular_nutrition/110.php.
3. Завалий А.А. Разработка и тепловое моделирование устройств инфракрасной сушки термолабильных материалов / А.А. Завалий, Ю.Ф. Снежкин. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2016. – 264 с.
4. Рудобашта С.П., Проничев С.А. Организация осциллирующего режима ИК-сушки зерна с помощью информационно-измерительной и управляющей системы // Хранение и переработка сельхозсырья. 2006. № 8. С. 72-75.
5. Григорьев И.В., Рудобашта С.П. Импульсная инфракрасная сушка семян овощных культур // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2009. № 4. С. 7-10.
6. Стимуляция семян путем импульсной инфракрасной сушки / Зуев Н.А., Рудобашта С.П., Зотова Е.Ю., Зуева Г.А. / Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 5. С. 27-29.
7. Завалий А.А., Ермолин Д.В., Ермолина Г.В., Лаго Л.А. Влияние режимов инфракрасной сушки на содержание биологически активных веществ в ягодах малины и ежевики // Мичуринский агрономический вестник. 2017. № 2. С. 149-153
8. Ермолина Г.В., Ермолин Д.В., Завалий А.А., Лаго Л.А., Помозова А.С. Подбор и обоснование элементов технологии производства функциональных напитков из виноградной выжимки // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2017. № 12 (175). С. 64-71.
9. Завалий А.А. Инфракрасная сушка растительного сырья // Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства: Сборник научных трудов Международного научно-технического семинара, посвящённого 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева. 2018. С. 92-98.
10. Завалий А.А., Рыбалко А.С., Лаго Л.А. Устройство инфракрасной сушки сельскохозяйственного сырья при пониженном давлении // Аграрный вестник Урала. 2017. № 06 (160). С.42-49.

УДК: 677.027.652

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРОПРОНИЦАЕМЫХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
DETERMINATION OF VAPOR-PERVABLE PROPERTIES OF
MULTILAYERED TEXTILE MATERIALS**

**Ольга Витальевна Козлова, Евгений Геннадьевич Полушин
Olga V.Kozlova, Evgeny G.Polushin**

*Ивановский государственный химико-технологический университет
Россия, Иваново
Ivanovo State University of Chemistry and Technology,
Russia, Ivanovo
(e-mail: polushin@mail.ru, ovk-56@mail.ru)*

Аннотация: Оценено влияние композиционного состава мембранного полимерного слоя на паропроницаемые свойства дублированных материалов. Показано, что введение минеральных наполнителей в полимерную матрицу изменяет ее паропроницаемые свойства. Наиболее эффективными добавками являются каолин и оксид графена.

Abstract: The influence of the composition of the membrane polymer layer on the vapor-permeable properties of duplicated materials is estimated. It is shown that the introduction of mineral fillers into the polymer matrix changes its vapor-permeable properties. The most effective additives are kaolin and graphene oxide.

Ключевые слова: дублированные текстильные материалы; мембранные технологии; минеральные наполнители; каолин; оксид графена; паропроницаемость.

Keywords: duplicated textile materials; membrane technologies; mineral fillers; kaolin; graphene oxide; vapor permeability indicator.

В настоящее время, развитие текстильной промышленности во многом упирается на улучшение качества выпускаемой продукции, с целью повышения ее конкурентной способности, снижения материальных и энергетических затрат на производство и, как следствие, снижения себестоимости выпускаемой продукции. Решение этих задач невозможно без совершенствования традиционных технологических процессов, разработки и внедрения новых технологий отделки тканей. Все более востребованы технологии, которые отличаются экологичностью, легкостью в воспроизведении тех или иных режимов обработки текстильных материалов и изделий.

Одним из инновационных и перспективных направлений является создание многофункционального текстиля, ориентированного на эксплуатацию в жестких и экстремальных условиях. Особенностью такого материала, является наличие ряда свойств: теплоизоляция, выведение влаги в виде пара, небольшая масса. Помимо этого, защита от ветра и дождя.

Следует отметить, что простейшие способы получения многофункционального текстиля (смешение волокон, модификация нитей, модификация строения и поверхности текстильных полотен) не могут дать желаемых результатов. Создание такого текстильного материала, который удовлетворит всем этим, казалось бы, противоречащим друг другу требованиям, лежит в переходе к сложным многослойным композиционным текстильным структурам. Такие структуры содержат в необходимом, заданном порядке различные функциональные слои.

Учитывая многообразие современных волокнистых материалов можно отметить, что соединение их в одну структуру дает возможность варьировать технические свойства композитов в широких пределах. Научный и производственный интерес в этой области

объясняется потенциальными возможностями создания текстильных композитов с дополнительными качествами, в которых сочетаются самые разнообразные свойства и функции, а также комплекс требований (защитного, гигиенического, эксплуатационного и эстетического характера), который будет предъявляться к текстильному материалу.

В зависимости от способов получения дублированных тканей, результаты обеспечивают либо полное соединение поверхности между тканями, либо приобретают «дышащий» эффект мембранных тканей. Мембрана представляет собой многослойную ткань, включающую такую пленку, которая не пропускает воду снаружи, но позволяет испаряться влаге, образующейся внутри. Поэтому главной задачей при создании мембраны, является получение композита, который будет иметь достаточную паропроницаемость для отвода паров воды от тела человека и создания комфортного пребывания в такой одежде длительное время.

Определённой паропроницаемостью обладают все используемые сегодня ткани и утеплители. Однако в численном выражении ее показатели представлены только для описания свойств мембран, применяющихся в производстве одежды, и для очень малого количества не водонепроницаемых текстильных материалов.

Чаще всего паропроницаемость измеряют в г/м²/24 часа, т.е. количество водяного пара, которое пройдёт через квадратный метр материала за сутки и обозначается аббревиатурой MVTR («moisture vapor transmission rate» или «скорость прохождения водяного пара»).

Известно [1], что свойства наполненного полимерного материала зависят не только от свойств полимерной матрицы, но и от используемого наполнителя, характера распределения последнего и его размеров, а также природы взаимодействия на границе раздела полимер-наполнитель. При использовании твердых наполнителей (графита и других) в результате введения их в полимерный субстрат, уменьшается подвижность макромолекул в гранулированном слое, что существенно отражается на свойствах материала.

С целью улучшения физико-механических и других свойств крупнотоннажных полимеров и сополимеров, широко используются методы, основанные на включении в их состав различных добавок из числа наноразмерных частиц графита, металлов, их оксидов, сульфидов, глины и др. [2-5]. В связи с этим представляет интерес оценить влияние вводимых в полимерный субстрат минеральных наполнителей, которые являются известными сорбентами, на показатель паропроницаемости.

Цель работы заключается в изучении влияния состава полимерного слоя, наносимого на текстильный материал, на его «дышащие» свойства, а именно, изучение влияния вводимых в полимерный субстрат минеральных наполнителей на показатель паропроницаемости.

Полученные в работе показатели паропроницаемости дублированных материалов с введением в полимерную матрицу минеральных добавок представлены в таблице 1.

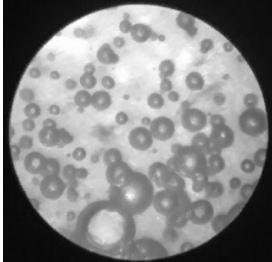
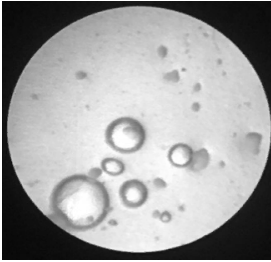
Таблица 1 – Паропроницаемость полимеров с добавками минеральных наполнителей

| № | Наименование наполнителя | Показатель паропроницаемости, MVTR (г/м ² /24 ч) |
|---|--------------------------|---|
| 1 | Без наполнителя | 191 |
| 2 | Хлористый кальций | 587 |
| 3 | Алюмосиликат (САС) | 260 |
| 4 | Лигносульфат (ЛСФ) | 571 |
| 5 | Горный хрусталь (80 мк) | 607 |
| 6 | Каолин (40% паста) | 1165 |
| 7 | Оксид графена – 10% | 341 |
| 8 | Оксид графена – 30% | 1125 |

Из полученных данных следует, что наибольшей паропроницаемостью обладают материалы, содержащие в качестве наполнителей каолин и оксид графена. Значение показателя в сравнении с другими сопоставляемыми наполнителями, повышается в 2-4 раза.

Для выяснения причин такого различия в поведении минеральных добавок в полимерном субстрате, использовали микроскопический анализ для визуального сравнения объектов исследования, с помощью микроскопа МБИ-3.

Таблица 2 – Фото полимеров с наполнителями минеральной природы

| | |
|---|--|
|  |  |
| Лигносульфонат | Каолин |

В таблице 2 представлены фото с пленок полимеров, в которые были введены наполнители минеральной природы. Объяснить повышение паропроницаемых свойств полимеров с включением таких минералов, как каолин, ЛСФ можно, очевидно, за счет образования в их присутствии довольно крупных воздушных включений, появившихся в полимере после сушки и термообработки.

В таблице 1 также приведены данные по показателям паропроницаемости для материалов, где в полимер введен оксид графена. Причем на его примере показано влияние концентраций наполнителя на показатель паропроницаемости волокнисто-полимерного композита.

Как можно заметить, используя различное количество вводимого сорбента в полимерную матрицу, можно изменять в сторону увеличения показатель паропроницаемости, что позволяет прогнозировать заранее требуемые свойства материалов. Так, увеличение минерального компонента с 10 до 30% приводит к повышению показателя MVTR со 191 г/м² до 1125 г/м².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энциклопедия полимеров / Ред. коллегия: В. А. Кабанов (глав. ред.) [и др.] - Москва, 1974, Т. 327
2. Ковалева, Н. Ю. Синтез нанокомпозитов на основе полиэтилена и слоистых силикатов методом интеркаляционной полимеризации. / Н. Ю. Ковалева, П. Н. Бревнов //Высокомолекулярные соединения. 2004. Серия Б. Т. 46. № 5. С.1045–1051
3. Шайдурова, Г. И. Аналитические исследования по реализации наноструктур в полимерных композициях / Г. И. Шайдурова, А. В. Малышева// Master's journals. 2016. № 2. С. 87–92
4. Gasimova, G. Sh. Nanocomposites with the improved tribotechnical characteristics on the basis of polyolefins /G. Sh. Gasimova, N. T. Gahramanov, S. S. Pesetskiy, M. M. Ibrahimova, S. Kh. Gasimzade. // The Usa Journal of Applied Sciences. 2017. № 4. P 6–9.
5. Якемсева, М. В., Усольцева Н. В. /Материалы 2 Международной научно-технической конференции «Полимерные композиты и трибология» (ПОЛИКОМТРИБ-2013). Гомель. 2013. С. 284–285
6. Ней, З. Л. Изучение свойств высоконаполненных полиолефиновых композиций. / З. Л. Ней, Д. А. Илатовский, В. С. Борисова, В. С. Осипчик, Т. П. Кравченко //Успехи в химии и химической технологии. 2015. Т. XXIX. № 10. С. 41–43.

УДК 677.027.625

**ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С НАНОДОБАВКАМИ В
СТРУКТУРЕ ПОЛИМЕРА**
**OBTAINING AND RESEARCH OF PROPERTIES MODIFIED POLYMER MATERIALS
WITH NANOPARTICLES IN POLYMER STRUCTURE**

Надежда Васильевна Колоколкина
Nadezhda V. Kolokolkina

*Российский государственный университет им. А.Н.Косыгина
(Технологии.Дизайн.Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: nvkolok@mail.ru)*

Аннотация: Рассмотрены возможности получения модифицированных полимерных (фторсодержащего, хлорсодержащего) материалов с повышенным уровнем антиадгезионных свойств при использовании метода электроформования из растворов волокнообразующих полимеров с добавками наночастиц слоистых двойных гидроксидов и фторсодержащего ПАВ, исследованы вязкостные свойства растворов полимеров и приведены антиадгезионные свойства полимерных материалов.

Abstract: The possibilities of obtaining modified polymeric (fluorine-containing, chlorine-containing) materials with an increased level of antiadhesive properties using the electroforming method from fiber-forming polymers with additions of nanoparticles of layered double hydroxides and fluorine-containing surfactants are examined, the viscosity properties of polymer solutions are studied and the anti-adhesive properties of polymer materials are studied.

Ключевые слова: пониженная смачиваемость, краевой угол смачивания, наночастица.

Keywords: the lowered wettability, the regional angle of wetting, viscosity of solutions, nanoparticle.

Исследования по модифицированию волокон направлены на оптимизацию и улучшение свойств волокон и полимерных материалов на их основе, что позволяет значительно расширить области их использования. Наиболее перспективным способом является наномодифицирование, что позволяет получать волокна со значительно улучшенными характеристиками и новым спектром свойств.

На мировом рынке представлено множество различных изделий с абсолютно уникальными свойствами, полученными с использованием нанотехнологий. Уникальность современных нанотехнологий, с использованием которых получают различные изделия с высокими функциональными свойствами, состоит в существенном снижении количества модификаторов, например, функциональных добавок наноразмерного характера, используемых для придания полимерным материалам новых свойств. Использование нанодобавок, вводимых в структуру полимерных волокон, является одним из перспективных методов наномодифицирования, приводящим к его практической реализации и расширению областей применения. Как показывает практика, нанодобавок необходимо вводить в 2-3, а то и в 10 раз меньше, нежели функциональных добавок обычных размеров. Уровень свойств, сообщаемый полимерным материалам, при использовании нанодобавок возрастает в разы.

Одним из перспективных способов такой технологии является «композитная модификация», которая позволяет без существенных изменений условий формования сообщать волокнам высокий уровень специальных свойств.

В настоящей работе исследована возможность получения модифицированных хлорсодержащего и фторсодержащего волокон с высоким уровнем антиадгезионных свойств при введении в их структуру наноразмерных частиц слоистого двойного гидроксида,

модифицированного олеатом натрия, (СДГ), и добавок неионогенного фторсодержащего ПАВ – фолитола 163 (фтор ПАВ) методом безфильерного формования - электроформования.

Для получения модифицированных полимерных материалов с антиадгезионными свойствами использовали композиции с добавками фторПАВ, в качестве которого применяли $\text{H}(\text{CF}_2\text{CF}_2)\text{CH}_2\text{O C}_9\text{F}_{17}$, а также слоистые двойные гидроксиды, молекулярные структуры которых подобны структурам минералов семейства гидроталькита-манассеита (каолин, бентонит, монтмориллонит и пр.). Поэтому как и природные глины, СДГ имеют в своем составе одновременно катионо- (гидроксидные слои $[\text{Me}^{2+}, \text{Me}^{3+}(\text{OH})]$) и анионообменные группировки, за счет электростатического взаимодействия которых имеют достаточно стабильную структуру (рисунок 1).

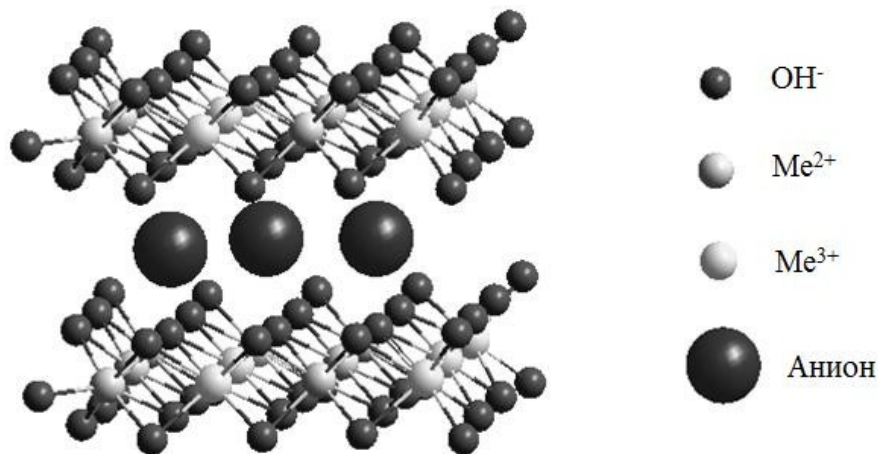


Рисунок 1 - Модельная структура двойных слоистых гидроксидов

Такие вещества обладают рядом уникальных свойств, благодаря которым находят широкое применение. В первую очередь стоит выделить возможность вариации катионного состава слоя СДГ: Al^{+3} , Zn^{+2} , катионы в сочетании Me^{2+} - Me^{3+} могут входить в состав «каркаса». Особенность межслоевого пространства заключается в способности удерживать химические вещества между слоями и замещении анионов в межслоевом пространстве без разрушения слоистой структуры [1].

Для формования готовили формовочный раствор фторопласта в диметилформамиде 10%. Электроформование осуществляли на приборе «Nanospider» NS LAB 200S.

Определяли значение поверхностного натяжения раствора исходного фторопласта в ДМФА= 46мН/м и с добавками СДГ и фторПАВ = 30мН/м. Снижение поверхностного натяжения до определенных пределов, как правило, должно приводить к улучшению формуемости волокна. Это подтверждается визуальным наблюдением за процессом образования волокна на различных подложках.

Формование волокон с добавками фторПАВ происходит более направленно, наблюдается устойчивость к распылению образующихся струй и формирование из них волокон.

Отверждение волокон проводили на нетканую подложку или подложку из фольги. В результате электроформования был получен фторсодержащий волокнистый материал. Данные об антиадгезионных свойствах приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели краевого угла смачивания фторированного волокнистого материала различного состава

| Состав волокнистого материала | Краевой угол смачивания до УЗ обработки, град | Краевой угол смачивания после обработки УЗ, град |
|-------------------------------|---|--|
| Фторопласт (ФП) | 57 | 100 |
| ФП +СДГ-5% | 113 | 120 |
| ФП +СДГ-10% | 105 | 110 |
| ФП +фтор ПАВ-0,5% | 110 | 115 |
| ФП+СДГ+фторПАВ | 127 | 130 |

Как видно из данных таблицы 1, введение наночастиц СДГ в структуру фторсодержащих полимерных материалов приводит к увеличению показателя краевого угла смачивания. Введение фолитола в структуру волокон приводит к повышению несмачиваемости. В то время как совместное введение СДГ и фторПАВ приводит к значительному увеличению уровня несмачиваемости. Особенно это увеличение ощутимо при обработке композиции ультразвуком (УЗ): краевой угол смачивания повышается с 57 до 130 град.

Как видно из представленных данных, обработка УЗ приводит к значительному повышению антиадгезионных свойств модифицированных волокон с добавками наночастиц, что, по-видимому, можно объяснить более равномерным распределением, дроблением и уменьшением размеров наночастиц в структуре. Этот вывод подтверждается АСМ исследованием структуры волокон.

Для получения хлорсодержащего волокнистого материала методом электроформования использовали раствор перхлорвинила в диметилформамиде без добавок и с добавками СДГ и фторПАВ фолитола. При электроформовании из растворов полимеров важными показателями являются их электропроводность и вязкость. В работе была исследована зависимость вязкости от концентрации полимера в растворе диметилформамида, в результате чего была выявлена оптимальная концентрация полимера для проведения стабильного процесса электроформования [2]. При переходе через точку кроссовера, которая для исследуемой системы находится на уровне 12% ной концентрации, когда в полимерном растворе формируется непрерывная пространственная структура или так называемая флуктуационная сетка зацеплений , была выбрана оптимальная концентрация полимера для сохранения целостности струи при формовании. При электроформовании поддерживали значение концентрации полимера в растворе выше точки кроссовера - на уровне 15 % .

Данные о краевых углах хлорсодержащего волокнистого материала, полученного с добавками фторПАВ и СДГ, представлены в таблице 2.

Данные, представленные в таблице 2, свидетельствуют о повышении уровня антиадгезионных свойств хлорсодержащего волокнистого материала при модифицировании его введенными в структуру нанодобавками СДГ совместно с фторПАВ. Краевой угол повышается с 85 до 133 град.

Таблица 2 – Показатели краевого угла смачивания хлорсодержащего волокнистого материала различного состава

| Состав волокнистого материала | Краевой угол смачивания до УЗ обработки, град | Краевой угол смачивания после обработки УЗ, град |
|-------------------------------|---|--|
| Перхлорвинил (ПХВ) | 85 | 90 |
| ПХВ +СДГ-5% | 100 | 110 |
| ПХВ +СДГ-10% | 105 | 110 |
| ПХВ +фторПАВ-0,7% | 115 | 125 |
| ПХВ +СДГ+фторПАВ- 0,7% | 122 | 133 |

Интерес представляло исследовать размерность получаемых полимерных волокон, модифицированных нанодобавками, включенных в структуру волокна. Для изучения рельефа поверхности волокнистых материалов использовали метод атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Исследования волокон атомно-силовой микроскопией (АСМ) показывают, что после обработки УЗ модифицированные хлорсодержащие волокнистые материалы характеризуются более высокими диаметрами волокон по сравнению с волокнами, полученными без обработки УЗ. Фторсодержащие полимерные волокна с добавками наночастиц СДГ, а также СДГ и фторПАВ характеризуются повышенным по сравнению с хлорсодержащими волокнами диаметром.

Таблица 3 – Характеристика размеров модифицированных полимерных волокон

| Состав волокнистого материала | Диаметр волокна, до обработки УЗ, нм, | Диаметр волокна, после обработки УЗ, нм |
|-------------------------------|---------------------------------------|---|
| Перхлорвинил (ПХВ) | 370-700 | – |
| ПХВ +СДГ-5% | 100- 200 | 200- 600 |
| ПХВ +СДГ-10% | 105- 250 | 230 - 550 |
| ПХВ +фтор ПАВ-0,7% | 185-240 | – |
| ПХВ +СДГ+фторПАВ- 0,7% | 105- 250 | 200 - 450 |
| ФП | 940-1330 | – |
| ФП + СДГ – 5% | 600-1120 | – |
| ФП + СДГ + фторПАВ | 970-1300 | – |

Таким образом показана возможность получения полимерных волокнистых материалов с высоким уровнем антиадгезионных свойств путем введения нанодобавок при участии фторсодержащего ПАВ фолитола в структуру волокна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Субчева Е.Н., Серцова А.А., Юртов Е.В. Синтез и исследование слоистых двойных гидроксидов // Успехи в химии и химической технологии.-Т.27.- 2013.-№6(146).- С.116-118.
2. Орленева А.П. Динамические свойства концентрированных и полуразбавленных растворов полидиметилдиаллиламмоний хлорида и его комплексов с додецилсульфатом натрия / автореф. дис... канд.хим.наук : 02.00.06 - М., 1998. – 20 с.

УДК 66.09

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ПРОПЕЛЛЕРНОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ МЕШАЛОК
COMPARATIVE ANALYSIS OF PROPELLER AND COMBINED MIXERS
APPLICATION EFFECTIVENESS**

**Анжелика Анатольевна Шагарова, Людмила Александровна Ильина
Anzhelika A. Shagarova, Liudmila A. Iina**

*Волгоградский государственный технический университет, Россия, Волгоград
Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd
(e-mail: shagarang@mail.ru; vgtupahp@gmail.com)*

Аннотация: Применена разработанная методика экспериментальных исследований и проведен комплексный анализ влияния конструктивных и кинематических характеристик стандартной пропеллерной мешалки и комбинированной мешалки, работающей по принципу резонансного эффекта, на интенсивность и эффективность перемешивания жидких гетерогенных систем.

Abstract: The developed technique of the pilot studies is applied and the complex analysis of influence of constructive and motion characteristics of the propeller mixer and combined mixer working by the principle of resonance effect on intensity and heterogeneous liquid systems mixing efficiency is carried out.

Ключевые слова: перемешивание, механические перемешивающие устройства, пропеллерная и комбинированная мешалки, интенсивность и эффективность перемешивания.

Keywords: mixing, mechanical mixing devices, high-speed and combined stirrers, mixing intensity and effectiveness.

Механическое перемешивание является одним из наиболее распространенных процессов химической технологии, а аппараты с механическими перемешивающими устройствами - доминирующий тип аппаратов для обработки жидких сред. Это объясняется высоким коэффициентом полезного действия механических перемешивающих устройств, простотой и надежностью их конструкций [1,2].

Выбор конструкции перемешивающего устройства (мешалки) определяется рядом факторов, к числу которых относятся: физические свойства перемешиваемой среды, условия проведения технологического процесса, конструктивные особенности аппарата и др.

Получили распространение аппараты с несколькими перемешивающими устройствами различного функционального назначения. Как правило, основу этого варианта составляет тихоходная рамная или аналогичная ей мешалка, а также одно или два дополнительных перемешивающих устройства, предназначенных для создания или интенсификации циркуляционного движения или выполняющих различные смесительные и диспергирующие функции. Такое конструктивное оформление, позволяет значительно расширить области применения аппаратов [3].

В некоторых смесителях в соответствии с требованиями эксплуатации необходимо использовать два или более двигателя для приведения в действие через отдельные приводные блоки нескольких перемешивающих устройств, закрепленных на соосных валах, быстроходном и тихоходном соответственно [1].

Для увеличения интенсивности и эффективности перемешивания высоковязких неньютоновских жидкостей, растворов, эмульсий и суспензий по всей высоте аппарата разработаны конструкции комбинированных смесителей с гидромурфтой, отличительной особенностью которых является сочетание быстроходной и тихоходной мешалок, установленных на одном валу и получающих вращение от одного привода, что приводит к снижению энергозатрат на перемешивание [4].

Таким образом, перспективным направлением при перемешивании жидких сред является разработка и использование нового поколения оборудования, которое позволяет увеличивать турбулизацию и циркуляцию потоков при одновременном снижении энергопотребления и металлоемкости [2].

Одним из разрабатываемых направлений в области конструирования аппаратов с мешалками является создание конструкций вибрационных мешалок, совершающих возвратно-поступательные движения [5].

В полезной модели [6] разработана конструкция смесителя, в которой используется вал в зоне смешения в виде упругой цилиндрической пружины. Это позволяет перевести вал мешалки, помимо вращения от привода в режим осевых резонансных колебаний без установки специального привода, совершающего возвратно-поступательное движение, что существенно упрощает конструкцию смесителя при сохранении эффективности и интенсивности смешения, особенно высоковязких неньютоновских жидкостей.

Вал мешалки, представляющий собой в зоне смешения цилиндрическую пружину, образует с самой мешалкой массой m физический маятник. Коэффициент упругости цилиндрической пружины определяется уравнением (1):

$$a = (2\pi \cdot n)^2 \cdot m, \quad (1)$$

где a - коэффициент упругости цилиндрической пружины, Н/м;

n - число оборотов вала мешалки, об/с;

m - масса мешалки, кг.

Собственную частоту колебаний ν для физического маятника можно найти из выражения (2):

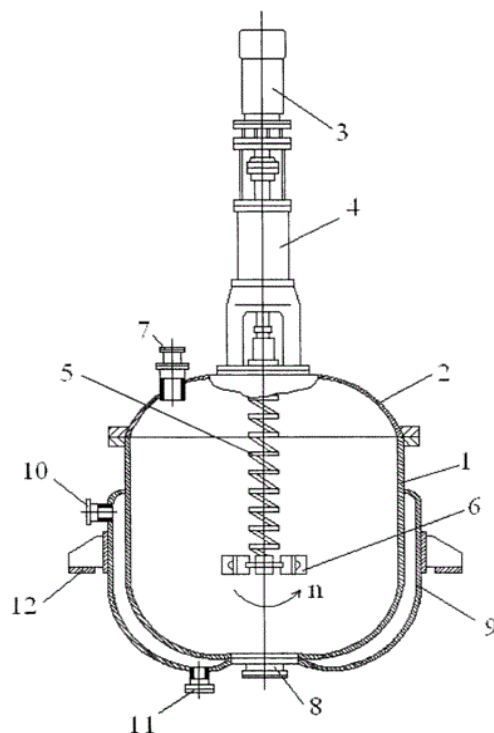
$$\nu = \frac{\sqrt{a}}{2\pi \cdot m} \quad (2)$$

Если собственная частота колебаний ν в формуле (2) равна частоте вращения вала мешалки n , то при выполнении условия (1) вал, представляющий собой в зоне смешения цилиндрическую пружину, вместе с мешалкой совершает резонансные колебания, которые обеспечивают перемешивание обрабатываемого продукта в окружном и осевом направлениях. Схема конструкции смесителя показана на рисунке 1.

Смеситель работает следующим образом. В корпус подают обрабатываемый продукт. Одновременно подводят в рубашку теплоноситель. Через редуктор передается вращение валу и мешалке с заданной частотой вращения. Подбирается пружина с заданной характеристикой упругости и массой, которая вращается вместе с валом и в процессе вращения начинает работать в режиме резонансных продольных колебаний.

Целью работы является проведение сравнительного анализа эффективности разработанной конструкции смесителя с комбинированной мешалкой и стандартной пропеллерной мешалки по разработанной методике экспериментальных исследований [7].

На основании разработанной конструкции создан опытный образец комбинированной мешалки. Экспериментальные исследования проводились на базе перемешивающего устройства ES - 8300D, имеющем несколько сменных валов, на которые устанавливались быстросходная пропеллерная мешалка и разработанная комбинированная мешалка.



1 – корпус; 2 – съемная крышка; 3 – двигатель; 4 – редуктор;
5 – вал; 6 – мешалка; 7, 8, 10, 11 – патрубки; 9 – рубашка; 12 – опоры

Рисунок 1 – Смеситель.

В качестве рабочих жидкостей использовались: вода и подсолнечное масло, практически несмешиваемые жидкости, в соотношении 1:1. Конечным продуктом перемешивания является эмульсия.

Наиболее важными характеристиками перемешивающих устройств, которые могут быть положены в основу их сравнительной оценки, являются эффективность и интенсивность перемешивания.

Получение устойчивой эмульсии зависит от интенсивности и времени перемешивания. В качестве параметра, характеризующего интенсивность перемешивания, может быть использован критерий Рейнольдса.

$$Re = \frac{\rho \cdot n \cdot d_m^2}{\mu} \quad (3)$$

ρ – плотность эмульсии, кг/м³;

n – число оборотов мешалки, с⁻¹;

μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с;

d_m – диаметр мешалки, м.

Критерий мощности мешалки K_N :

$$K_N = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d_m^5} \quad (4)$$

где N – мощность, затрачиваемая на перемешивание, Вт.

Интегральной характеристикой интенсивности процесса перемешивания в аппарате служит коэффициент интенсивности, определяемый по формуле (5):

$$I = \frac{N}{V} \quad (5)$$

где V – объем перемешиваемой жидкости, м³.

Для оценки эффективности перемешивания вводится коэффициент эффективности перемешивания, определяемый по формуле (6):

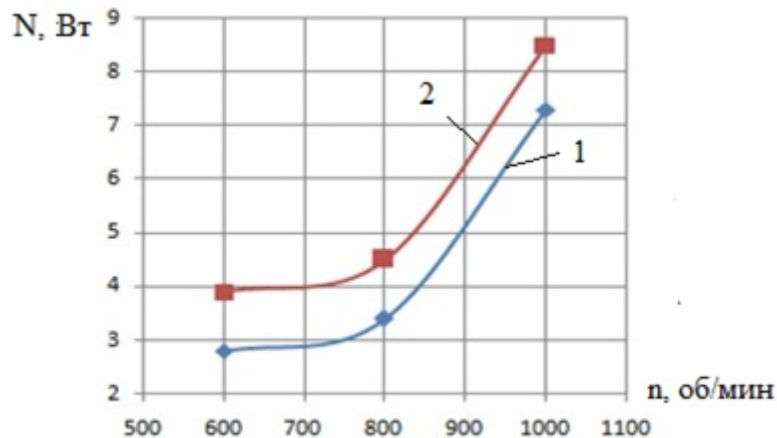
$$\Theta = \frac{\tau_{\text{пол}}}{\tau_{\text{эт}}} \quad (6)$$

где $\tau_{\text{пол}}$ - время расслоения исследуемой эмульсии, с;

$\tau_{\text{эт}}$ - время расслоения эталонной эмульсии, с.

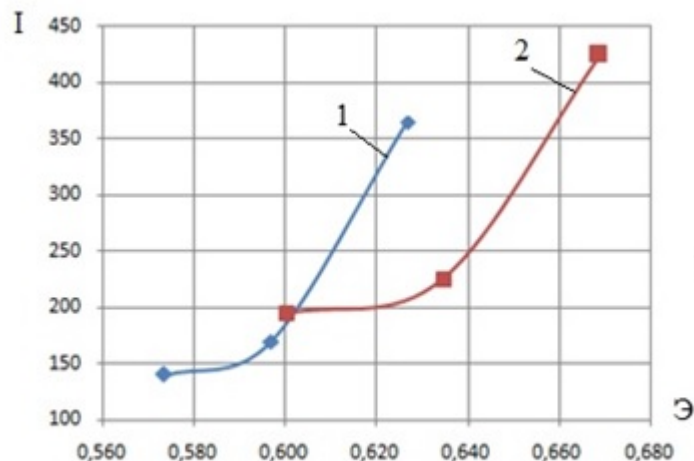
Результаты опытов усреднялись по 3-м значениям параметров. В ходе экспериментальных исследований фиксировалось время расслоения эмульсии.

Результаты экспериментальных исследований обработаны в виде графических зависимостей, представленных на рисунках 2,3. [7].



1 – пропеллерная мешалка; 2 – комбинированная мешалка

Рисунок 2 – График зависимости мощности от числа оборотов мешалки



1 – пропеллерная мешалка; 2 – комбинированная мешалка

Рисунок 3 – График зависимости коэффициента интенсивности от эффективности работы мешалки

Анализ графических зависимостей показывает, что затраты мощности на процесс перемешивания при использовании комбинированной мешалки возрастают незначительно, а коэффициент эффективности комбинированной мешалки разработанной конструкции по сравнению с пропеллерной мешалкой увеличивается в среднем на 32%.

Интенсивность перемешивания при использовании комбинированной мешалки возрастает по сравнению с пропеллерной, причем с увеличением числа оборотов мешалки эта тенденция растет.

Комбинированные мешалки могут найти применение в ряде современных технологий в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, топливноэнергетической, фармакологической, пищевой и других отраслях промышленности.

Комбинированный смеситель несложно установить как на вновь проектируемые аппараты, так и на находящиеся в эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стренк Ф.* Перемешивание и аппараты с мешалками. / Под ред. И.А. Щупляка. Л.: Химия, 1975. 384 с.

2. *Бальмонт С.Д.* Степень и интенсивность как основные параметры перемешивания жидких и гетерогенных сред/ С.Д. Бальмонт, П.П. Гуямджян, Т.М. Бальмонт // Современный наукоемкие технологии: сб. науч. ст. Ивановский государственный технический университет.- Иваново, 2010. №1. С. 48.

3. *Барабаш В.М.* Проблемы и тенденции развития теории и практики перемешивания жидких сред / В. М. Барабаш, В. И. Бегичев, М. А. Белевицкая, Н. Н. Смирнов // Теоретические основы химической технологии, 2007. том 41. № 2. С. 140.

4. *Голованчиков А.Б.* Разработка комбинированных смесителей для перемешивания жидких гетерогенных систем / Голованчиков А.Б., Шагарова А.А., Дулькина Н.А., Даниличева М.В. // Известия ВолгГТУ. Серия "Реология, процессы и аппараты химической технологии". Вып. 6: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2013. № 1 (104). С. 94.

5. *Тимонин А.С.* Основы конструирования и расчета химико- технологического и природоохранного оборудования. Справочник. Т.2. Издание 2-е, переработанное и дополненное. - Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2002. 1030 с.

6. *Голованчиков А.Б.* Смеситель. Патент на полезную модель № 154488. Кл. МПК – В 01 F 7/24. 20.06.2015.

7. *Лыско Ю.А.* Экспериментальные исследования процесса перемешивания с использованием смесителей с резонансным эффектом / Ю.А. Лыско, Л.А. Ильина, Н.С. Быков // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности : матер. X всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных с междунар. участием (г. Бийск, 24-26 мая 2017 г.) / Бийский технол. ин-т (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. - Бийск, 2017. - С. 249-254.

УДК 685.34.017

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИСКУССТВЕННЫХ КОЖ В
ПРОИЗВОДСТВЕ ОБУВИ**
**METHODS AND MEANS OF QUALITY CONTROL OF ARTIFICIAL LEATHER IN
FOOTWEAR MANUFACTURE**

Александр Николаевич Буркин, Виля Дмитриевна Борозна
Alexander N. Byrkin, Vilia D. Borozna

Витебский государственный технологический университет, Беларусь, Витебск
Vitebsk State Technological University, Belarus, Vitebsk
(e-mail: a.burkin@tut.by, wiliij@mail.ru)

Аннотация: Статья посвящена анализу существующих технических нормативных правовых актов на материалы заготовок верха обуви, применяемых в настоящее время в производстве изделий. Особое внимание уделяется показателям ТНПА, которые позволяют оценить технологическую пригодность материалов к производству обуви и их роль в управлении качеством продукции. Для решения данного вопроса разработаны методы и средства, позволяющие выбирать материалы, пригодные к производству обуви, с учетом их эксплуатационных свойств.

Abstract: The article is devoted to the analysis of the existing technical regulatory legal acts on the materials of the shoe upper, currently used in the manufacture of products. Particular attention is paid to indicators of TNPA, which allow to evaluate the technological suitability of materials for the production of footwear and their role in product quality management. To address this issue, methods and tools have been developed that allow the selection of materials suitable for the manufacture of footwear, taking into account their performance properties.

Ключевые слова: искусственная кожа, методы и средства оценки, свойства, обувь
Keywords: artificial leather, methods and means of evaluation, properties, shoes

На современном этапе экономического развития, характеризующемся возрастанием требований потребителя и глобализацией рынков, решение задач повышения качества и конкурентоспособности продукции приобретает первостепенное значение. Для повышения конкурентоспособности и качества выпускаемой продукции в Республики Беларусь утверждена государственная программа «Комплекс мер на 2016 – 2020 годы по стимулированию внедрения в экономику страны передовых методик и современных международных систем управления качеством». Одним из главных направлений принятой для реализации программы является совершенствование подходов к разработке и производству качественной и конкурентоспособной продукции. Решение поставленных задач невозможно без разработки научно-обоснованных требований и современных методик, позволяющих оценивать технологические и эксплуатационные свойства материалов, в том числе и искусственные кожи.

Искусственные кожи (ИК) достаточно широко применяются в производстве обуви. Анализ тенденций развития мирового рынка сырья показывает, что производство ИК будет постоянно расти и составит в денежном выражении 33,54 млрд. долл. к 2021 году [1]. Объем производимой обуви с верхом из ИК в Республике Беларусь планируют увеличить к 2020 году на 2–3 млн. пар в год, что составит 15–20% в общем объеме её выпуска.

Однако выбор ИК для наружных деталей верха обуви продолжает оставаться сложной задачей, поскольку отечественная промышленность их не производит, а применение современных импортных материалов для производства деталей верха обуви сдерживается недостатком сведений о структуре, технологических и эксплуатационных свойствах.

В современной литературе по материаловедению в производстве изделий легкой промышленности и товароведению непродовольственных товаров рекомендуется проводить исследование стандартных физико-механических свойств материалов для сборки верха обуви [2-6]. Оценка таких свойств ИК проводится по ГОСТ 17316-71 «Кожа искусственная мягкая. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве», в котором определяются только разрывная нагрузка и удлинение при разрыве. Однако этих показателей недостаточно для анализа пригодности ИК к формованию. Для определения показателей, определяющих возможность использования материалов при формовании заготовок верха обуви, проанализированы другие ТНПА: ГОСТ 19196-93 «Ткани обувные. Общие технические условия», ГОСТ 3813-72 «Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении», ГОСТ 939-94 «Кожа для верха обуви. Технические условия», ГОСТ 938.11-69 «Кожа. Метод испытания на растяжение», ISO 1421:2016 «Ткани с резиновым или пластмассовым покрытием. Определение прочности на растяжение и относительного удлинения при разрыве». На основе анализа указанных ТНПА определен набор показателей физико-механических свойств материалов, получаемых одноосным растяжением, которые следует учитывать при выборе ИК для верха обуви. К таким показателям отнесем следующие: толщина, поверхностная плотность, разрывная нагрузка, предел прочности, относительное удлинение при разрыве, коэффициент равномерности по разрывной нагрузке и по относительному удлинению при разрыве, относительная остаточная и упругая деформации, модуль упругости и жесткость.

Анализ данных показателей показывает то, что сравнивать свойства материалов можно только по одному из них – относительному удлинению при разрыве, но при этом нужно учитывать масштабный фактор, т.е. размеры рабочей части образцов и условия испытаний должны быть одинаковы [7].

Для оценки способности ИК к двухосному растяжению используют четыре стандарта: ГОСТ 938.16-70 «Кожа. Метод определения прочности кожи и лицевого слоя при продавливании шариком», ГОСТ 29078-91 «Кожа. Метод испытания сферическим растяжением», СТБ ISO 17695 «Обувь. Методы испытаний верха обуви. Деформируемость», ISO 3379 «Кожа. Определение растяжения и прочности лицевого слоя методом продавливания шариком».

Данные методики предполагают использование специальных приборов и разрывных машин и различаются лишь количеством образцов, отбираемых для испытания (2 в отечественной и 3 в европейской), скоростью нагружения образца (100 мм/мин – в ГОСТ 938.16-70, 12 мм/с – по ISO 3379-76 и по СТБ ISO 17695), наличием предельной величины деформации тестируемого материала в СТБ ISO 17695 (10 мм рабочего хода стержня с шариком), в то время как отечественная методика предусматривает деформацию материала до разрыва или появления трещин на лицевой поверхности. Также различны диаметры формующих шариков: 6,25 мм – по ISO 3379-76, 6,5 мм – по ГОСТ 938.16-70, 10 мм – по ГОСТ 29078-91, 20 мм – по СТБ ISO 17695. Диаметр образцов для испытаний по ГОСТ 938.16-70 равен 35 мм, по ISO 3379-76 – 44,5 мм, по СТБ ISO 17695 точный размер не указан, т.к. предлагается брать минимальный диаметр, достаточный для надежного закрепления в зажиме (если судить по размерам приспособлений ISO 3379-76 и СТБ ISO 17695, то этот диаметр также будет равен 44,5 мм). Диаметр рабочей части образца одинаков по всем стандартам и составляет 25 мм. Однако определяемые показатели свойств при двухосном растяжении не позволяют дать объективную оценку технологической пригодности ИК.

Регламентируемые в данных ТНПА показатели физико-механических свойств недостаточно информативны, так как не позволяют в полной мере оценить способность материалов к сложному технологическому процессу формования верха обуви. Таким образом, есть необходимость в разработке дополнительных легко воспроизводимых и более информативных показателей свойств материалов, оценивающих способность материалов принимать и сохранять форму, а значит быть пригодными к формованию заготовок верха обуви различными способами.

Для оценки эксплуатационных свойств ИК существует ряд стандартов: ISO 7854:1995 «Ткани с резиновым или пластиковым покрытием. Определение стойкости к разрушению при многократном изгибе»; ГОСТ 13868-74 «Кожа хромовая для верха обуви. Метод определения устойчивости покрытия к многократному изгибу»; ГОСТ 8978-2003 «Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения устойчивости к многократному изгибу»; ГОСТ 20876-75 «Кожа искусственная. Метод определения морозостойкости в динамических условиях»; ГОСТ 15162-82 «Кожа искусственная и синтетическая и пленочные материалы. Метод определения морозостойкости материалов в статических условиях»; ГОСТ 28789-90 «Ткани с резиновым или пластмассовым покрытием. Испытание на изгиб при низкой температуре».

Однако данные стандарты позволяют проводить испытания только в лабораторных условиях при нормальных условиях окружающей среды (температура $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(65\pm 5)\%$) и не позволяют программировать условия изменения температуры и влажности при длительных испытаниях, изменять скорость нагружения и угол изгиба образцов. Стандарты, связанные с испытанием при низких температурах, не позволяют имитировать биомеханические воздействия стопы на материал изделия [8].

Существующий подход к оценке свойств ИК не учитывает конструктивные особенности производимой обуви, технологические и эксплуатационные воздействия. Таким образом, одной из важных проблем, которую необходимо решить при постановке продукции на производство, является разработка научно-обоснованных методов оценки технологической пригодности и прогнозирования эксплуатационных свойств ИК.

С данной целью были разработаны методы и средства оценки технологических и эксплуатационных свойств ИК на этапе входного контроля. Сущность предлагаемого методического подхода заключается в последовательном исследовании свойств материалов по разработанным критериям с имитацией воздействий технологических и эксплуатационных факторов на уже известных средствах измерения, имеющихся в лабораториях предприятий.

Поставленные задачи решались за счет разработки методики оценки технологических свойств ИК, позволяющей на стадии входного контроля на производстве с учетом конструктивных особенностей производимой обуви, способа формования верха обуви, технологических воздействий, оценить технологическую пригодность материала и обеспечить необходимый уровень качества готовой продукции [9,10].

Разработана методика оценки эксплуатационных свойств ИК в широком диапазоне температур, отличающаяся от известных тем, что позволяет учитывать различные условия носки за счет изменения скорости и угла нагружения и моделировать биомеханические воздействия стопы на материал, тем самым повышая объективность оценки свойств ИК для обуви.

Для реализации данного подхода разработаны и запатентованы способ, приборы и устройство, позволяющие проводить исследование свойств без закупки дорогостоящих средств измерений иностранного производства [11,12].

Разработанные методы и средства для оценки технологических и эксплуатационных свойств ИК позволяют оценить технологическую пригодность и прогнозировать эксплуатационные свойства в процессе носки обуви, и дают возможность проводить исследования с учетом требований существующих технических нормативных правовых актов на имеющемся оборудовании обувных предприятий Республики Беларусь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Synthetic Leather (Artificial Leather) Market by Type (Polyurethane, Polyvinyl Chloride, Bio-based), End-Use Industry (Footwear, Furnishing, Automotive, Clothing, Bags, Purses & Wallets, Sports, Electronics) - Global Forecast to 2021 [Электронный ресурс]: Ebsco. – Режим доступа: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nfh&AN=16PU3549757320&lang=ru&site=ehost-live>. – Дата доступа: 01.04.2019

2. *Зурабян К.М.* Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности / К.М. Зурабян, Б.Я. Краснов, Я.И. Пустыльник. – Минск.: 2003. 384 с.
3. *Жихарев А.П.* Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности. Москва.: Академия, 2004. 488 с.
4. *Садовский В.В.* Товароведение одежно-обувных товаров. Общий курс/ под общ. ред. В.В. Садовского, Н.М. Несмелова. Минск: БГЭУ, 2005. 427с.
5. *Сыцко В.Е.* Товароведение непродовольственных товаров / под ред. В.Е. Сыцко, М.Н. Миклушова. Минск: Выш. шк., 1999. 663 с.
6. Satra technology (2018), available at: <https://www.satra.com> (accessed 04 November 2018)
7. *Борозна В.Д.* Анализ технологической пригодности материалов к производству обуви / А.Н. Буркин, В.Д. Борозна // Стандартизация. 2016. №1 (2016). С. 52-56; №2(2016).С.48-51
8. *Борозна В.Д.* Разработка методики исследования эксплуатационных свойств ИК / В.Д. Борозна, А.Н. Буркин // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2018. №2 (35). С. 7-17
9. *Борозна В.Д.* Критерии пригодности материалов для верха обуви к формованию растяжением / В.Д. Борозна, А.Н. Буркин // Materiały IX Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania nauka i technikami-2013». Przemysł: Nauka i studia, 2013. С. 3-9
10. *Борозна В.Д.* Оценка формовочных свойств материалов для заготовок верха обуви/ В.Д. Борозна, А.Н. Буркин, А.П. Дмитриев // Veda a technologie: krok do budoucnosti - 2013: materialu IX me- zinarodnivedecko–prakticka conference. Praha: Publishing House «Education and Science», 2013. S. 57-61
11. *Буркин А.Н.* Универсальное устройство к разрывной машине для испытания на растяжение образца материала верха обуви. Патент на изобретение № 20437 Кл. МКП - С 14В 1/00, G 01N 3/00 / 08.06.2016
12. *Буркин А.Н.* Устройство к разрывной машине для оценки свойств материалов верха обуви сферическим растяжением. Полезная модель №11705 Кл. МКП - С 14В 1/00, G 01N 3/00 / 01.03.2018

УДК 678.645.126:678.046.2

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА
УГЛЕРОДНАПОЛНЕННОГО ПОЛИАМИДА-6
IMPROVING ENERGY AND RESOURCE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF
SYNTHESIS OF POLYAMIDE-6 FILLED WITH CARBON FILLERS**

**Дмитрий Владимирович Леонов, Татьяна Петровна Устинова,
Наталья Леонидовна Левкина
Dmitriy V. Leonov, Tatjana P. Ustinova, Natalja L. Levkina**

*Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский
государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Энгельс
Engels Institute of Technology (branch) Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
Russia, Engels
(e-mail:dmitrijleonov2011@yandex.ru)*

Аннотация: экспериментально подтверждено, что использование в качестве модификатора окисленного графита и метода полимеризационного совмещения компонентов перспективно для повышения энергоресурсоэффективности процесса синтеза углероднаполненного полиамида-6

Abstract: it is experimentally confirmed that the use of oxidized graphite as a modifier and the method of polymerization combination of components is promising for improving the energy efficiency of the synthesis of carbon-filled polyamide-6.

Ключевые слова: Полиамид-6, модификация, окисленный графит, полимеризационное совмещение компонентов.

Keywords: Polyamide-6, modification, oxidized graphite, polymerization combination of components.

Современный уровень развития отечественной экономики ставит задачи по разработке новых технических решений при получении и переработке полимерных композиционных материалов, в частности, полиамида-6 (ПА-6), который относится к многотоннажным представителям термопластов. Многообразие методов и способов получения капролактама, его доступность на сырьевом рынке, высокий выход готового продукта ставят полиамид-6 и изделия на его основе в ряд масштабно производимых полимерных материалов [1].

В данной работе для синтеза полиамида-6, наполненного электрохимически окисленным графитом (ОГ), использовали катионную полимеризацию капролактама. Целью введения ОГ являлось устранение одного из основных недостатков данного полимера – способности накапливать статическое электричество в условиях эксплуатации.

Оценка удельного объемного электрического сопротивления (рис. 1 А) модифицированного 1 % электрохимически окисленного графита полиамида-6 (стр. 3), подтвердила снижение значения этого показателя более чем в 3 раза по сравнению с немодифицированным полимером (стр. 1).

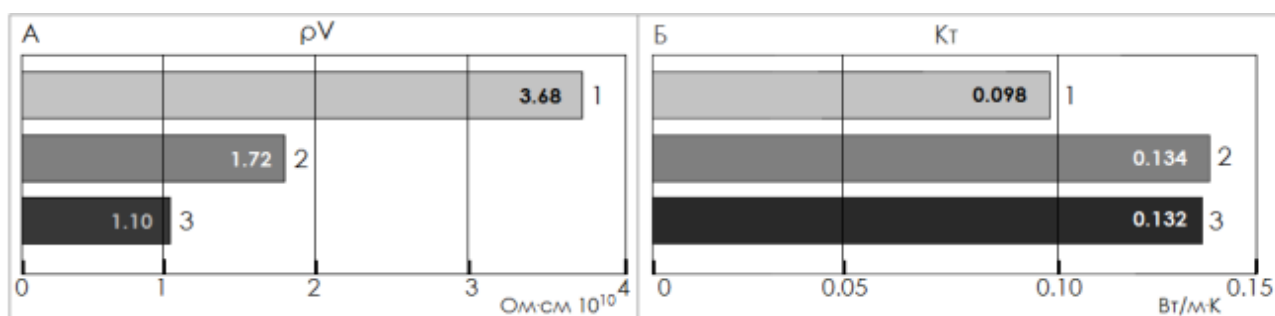


Рисунок 1 – Данные по удельному объемному электрическому сопротивлению (А), коэффициенту теплопроводности (Б): 1 – ПА-6 (лаб.); 2 – ПА-6 + 0,5 % эл.хим. ОГ; 3 – ПА-6 + 1,0 % эл.хим. ОГ

При этом модифицированный полиамид-6 (рис. 1 Б, стр. 2,3) обладает коэффициентом теплопроводности большим, чем у немодифицированного полимера (стр. 1) на 36 %.

Перспективным техническим решением, используемым для модификации полиамидной матрицы, выбран метод полимеризационного совмещения компонентов, т.к. традиционная технология получения наполненных термопластов – экструзия [2], многостадийна и характеризуется недостаточно равномерным распределением модификатора в получаемом композите.

При полимеризационном наполнении полимеризация мономеров на поверхности дисперсных или волокнистых наполнителей происходит непосредственно на стадии синтеза полимерной матрицы [3-5], что обеспечивает получение композитов с равномерным распределением наполнителя в объеме полимера, что повышает их эксплуатационные характеристики, сокращает стадийность технологии по сравнению с традиционным процессом ее экологическую напряженность, снижает износ оборудования и энергетические затраты.

Для оценки эффективности метода полимеризационного совмещения компонентов при получении графитомодифицированного полиамида-6 проводили сравнение с традиционной экструзионной технологией наполнения термопластов.

Исследовались полиамид-6, содержащий 1 % электрохимически ОГ, введенного в матрицу на стадии ее синтеза, и полиамид-6, модификацию которого 1 % электрохимически ОГ проводили экструзионным совмещением с гранулятом полимера.

Изучение влияния исследуемых способов совмещения компонентов оценивалось по изменению технологических показателей (табл.1) и деформационно-прочностных характеристик (табл. 2) модифицированных полиамидов.

Таблица 1 – Технологические свойства модифицированного полиамида-6

| Состав полимера | ПА-6 | ПА-6 + 1 % ОГ | ПА-6 + 1 % ОГ |
|--|------|-------------------|---------------|
| Способ совмещения | - | Полимеризационное | Экструзионное |
| Показатель | | | |
| Температура плавления, °С | 221 | 219 | 217 |
| Показатель текучести расплава, г/10 мин | 22 | 17 | 17 |
| Плотность, кг/м ³ | 1,07 | 1,07 | 1,12 |
| Содержание низкомолекулярных соединений, % | 2,6 | 1,2 | 1,4 |
| Водопоглощение, % | 2,15 | 1,80 | 1,92 |

Полученные результаты (таблица 1) свидетельствуют о том, что экструзионное совмещение полиамида-6 с электрохимически окисленным графитом, а также введение электрохимически окисленного графита в полимеризующую систему практически не изменяет технологические свойства модифицированного полимера, что обеспечивает его способность перерабатываться в изделия литьем под давлением.

Таблица 2 – Деформационно-прочностные свойства модифицированного полиамида-6

| Показатель | Разрушающее напряжение, МПа, при | | | Ударная вязкость, кДж/м ² | Твердость по Бринеллю, МПа |
|-------------------------------------|----------------------------------|--------|--------|--------------------------------------|----------------------------|
| | растяжении | сжатии | изгибе | | |
| Состав полимера | | | | | |
| ПА-6 | 44 | 100 | 70 | 19 | 100 |
| ПА-6+1,0%ОГ полимеризационное совм. | 28 | 68 | 48 | 15 | 115 |
| ПА-6+1,0%ОГ экструзионное совм. | 30 | 63 | 55 | 17 | 98 |

Из приведенных в таблице 2 данных следует, что изменение свойств модифицированного с использованием исследуемых способов совмещения компонентов полиамида-6 сопоставимо, однако применение метода полимеризационного совмещения компонентов, при котором модификатор вводится на стадии синтеза полиамида-6, обеспечивает более благоприятные условия для терморасширения окисленного графита. Это способствует формированию в модифицированном полимере квазинепрерывной углеродной фазы и приводит к повышению твердости материала.

Таким образом, метод полимеризационного совмещения компонентов относится к эффективным техническим решениям в области создания полиамидных композиционных материалов, отвечающих требованиям современной отечественной экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крыжановский В. К. Технические свойства пластмасс / В.К. Крыжановский. СПб.: Профессия, 2014.- 248 с.
2. Бортников В. Г. Теоретические основы и технология переработки пластических масс / В.Г. Бортников. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2017. - 480 с

3. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: уч. пособие / под. ред. Берлина А.А. Спб.: Профессия, 2014.- 592 с. .

4. Дьячковский Ф.С. Получение композиционных материалов полимеризационным наполнением / Ф.С. Дьячковский, Л.А. Новокшенова // Успехи химии. 1984. Т.53. № 2. С. 20-26.

5. Галашина Н. М. Полимеризационное наполнение как метод получения новых композиционных материалов / Н. М. Галашина // Высокомолекулярные соединения. 1994. том 36. С. 640-650.

УДК 349.6

**ПРАВОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ «СТЕПЕНИ ЛОКАЛИЗАЦИИ»
ГЕНЕРИРУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ
LEGAL PROBLEMS OF "LOCALIZATION DEGREE"
GENERATING OBJECTS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

Елена Николаевна Попова*, Александр Алексеевич Соловьев
Elena N. Popova *, Alexander A. Solovyev ****

**Университет Лазурного Берега, Франция, Ницца
*Université Côte d'Azur, France, Nice
(e-mail: elenan.popova@inbox.ru)*

*** Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва
**Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow
(e-mail: geosolmgu@mail.ru)*

Аннотация. В статье рассматриваются правовые проблемы государственного механизма определения «степени локализации» генерирующего оборудования для производства энергии на ВИЭ в качестве одного из препятствий для получения предприятиями статуса квалифицированного производителя энергии на ВИЭ.

Abstract. The article discusses legal problems of state mechanism of determination of "extent of localization" of the generating equipment on energy production based on renewable sources in quality of one of obstacles for obtaining by the enterprises the status of the qualified producer of energy based on renewable sources.

Ключевые слова: зеленые сертификаты, энергетика, энергоэффективность, возобновляемая энергетика, право, экономика, закон, государственная поддержка, степень локализации.

Keywords: green certificates, renewable energy, energy, economy, law, state support, extent of localization.

Чтобы приобрести статус квалифицированного производителя энергии на ВИЭ, предприятие должно соответствовать критериям, установленным в законе. Такие критерии установлены в Постановлении Правительства РФ о квалификации генерирующего объекта на ВИЭ [1]. Согласно которому определяется: соответствие целевым показателям объема производства и потребления электроэнергии, произведенной на ВИЭ; «степень локализации» на территории РФ производства основного и (или) вспомогательного генерирующего оборудования на ВИЭ. Процедура квалификации имеет заявительный характер. На практике только ограниченному количеству предприятий ВИЭ удастся успешно пройти процедуру аккредитации из-за наличия препятствий по обеспечению «степени локализации» генерирующего объекта. Проблема в том, что в России отрасль производства оборудования и комплектующих для сферы ВИЭ только начинает развиваться. Предприятия ВИЭ, реализующие инвестиционный проект, не могут выполнить требование закона о «степени

локализации и в итоге получить государственную помощь. Прежде всего, данная проблема касается ветроэнергетики. Российская промышленность не производит оборудование и комплектующие для строительства ветроэлектростанций.

Отсутствие интереса инвесторов по причине наличия данной проблемы подтверждается результатами конкурсных отборов проектов ВИЭ. Так отборы по ветровой генерации на 2017 - 2019 годы и по гидрогенерации на 2016, 2017 и 2018 годы фактически не состоялись ввиду отсутствия заявок, а для отборов по солнечной генерации на 2017 и 2018 годы, соответствующие квоты были выбраны на предыдущих конкурсах. Участники подали заявки в отношении 23 объектов: 1 в отношении ветровой генерации, 20 в отношении солнечной генерации и 2 в отношении гидрогенерации.

На втором этапе отбора, в рамках которого была возможность подавать заявки со сниженными капитальными затратами, проводилась незначительная коррекция заявок только в отношении 3-х объектов солнечной генерации. В отношении проектов по строительству объектов ветровой генерации и гидрогенерации уточняющие заявки не подавались в силу отсутствия конкуренции [2].

Если сравнить результаты отбора 2013 и 2014 гг., то в 2013 году отбор прошли 7 проектов по строительству ветропарков, а в 2014 году – всего лишь 1 (один) проект ООО «АЛТЭН», которое намерено построить и ввести в эксплуатацию первую очередь Приютненской ВЭС мощностью 51 МВт в Калмыкии. Несмотря на это, проект ООО «АЛТЭН» по строительству указанного ветропарка столкнулся с трудностями и не был реализован. В качестве примера наличия проблемы «степени локализации» можно привести проект немецкой компании SoWiTec строительства ветропарка в Ростовской области [3].

Выводы

Для России интерес инвесторов в основном проявляется к проектам в сфере солнечной энергетики. Нет проблем с выполнением требования «степени локализации» для малой гидроэнергетики. Развитие ветроэнергетического направления возобновляемой энергетики требует решения задач, связанных с локализацией оборудования

Работа выполнена при научном руководстве НИЛ ВИЭ Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства РФ от 03.06.2008 N 426 (ред. от 23.05.2017) "О квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии"
2. «Подведены итоги отбора проектов ВИЭ на 2016 - 2019 годы», журнал «С.О.К.», 18 декабря 2015 года: https://www.c-o-k.ru/market_news/podvedeny-itogi-otbora-proektov-vie-na-2016-2019-gody
3. «С энергией ветра», Interfax-Russia.ru, 20 апреля 2017 года: <http://interfax-russia.ru/South/view.asp?id=826104>

УДК 621.01

**УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА МЕХАНИЗМОВ
IMPROVED METHOD OF STRUCTURAL ANALYSIS OF MECHANISMS**

**Олег Дмитриевич Егоров
Oleg D. Egorov**

*Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Россия, Москва
Moscow state technological university «STANKIN», Russia, Moscow
(e-mail: egorovod@yandex.ru)*

Аннотация: Предложен усовершенствованный метод структурного анализа механизмов. Представлены формулы для аналитического определения числа избыточных и метрических связей, лишних подвижностей и лишних звеньев, возникающих в контурах механизмов, а также даны рекомендации по их устранению.

Abstract: We offer the improved method of structural analysis of mechanisms. We also describe the formulas which allow to find the number of redundant and metric connections, redundant mobilities and links which can appear in the streamlines of the mechanism as well as the ways of their removal.

Ключевые слова: механизм, структурный анализ, избыточная связь, лишняя подвижность, метрическая связь, подвижность, степень подвижности.

Keywords: mechanism, structural analysis, redundant connection, redundant mobility, metric connection, mobility, axis.

Современные машины и системы широко применяют в различных областях техники. Они построены на принципах синергетической интеграции механических, электротехнических, электронных, информационных и компьютерных компонентов и предназначены для преобразования энергии, материалов и информации с целью замены или облегчения физического и умственного труда человека.

Механическими компонентами этих устройств являются механизмы – системы твердых тел, подвижно соединенных между собой различными видами связей, реализующие управляемые двигательные функции, т.е. осуществляющие преобразования управляемого движения одного или нескольких тел системы в требуемые управляемые движения других тел.

Под связями в механизмах понимают ограничения, накладываемые на относительные движения каждого звена кинематической пары (КП), зависящие от способов их соединения.

Все КП можно условно разделить на пассивные и активные. Пассивная КП (в дальнейшем просто кинематическая пара (КП)) – подвижное соединение двух звеньев, не позволяющее осуществлять заданное управляемое движение одного звена пары относительно другого. Активная КП позволяет сообщать одному из звеньев пары управляемые обобщенные координаты. Такие КП будем называть степенями подвижности (СП). Степень подвижности включает в себя приводы, приводящие в движение звено пары. На структурных и кинематических схемах СП изображают иначе, чем КП, но близкими к ним условными графическими изображениями [1].

Основой любого механизма является кинематическая цепь (КЦ), т.е. соединение нескольких звеньев между собой при помощи КП. Такая КЦ относительно одного или нескольких ее звеньев будет неподвижной. Для приведения ее в движение необходимо одну или несколько КП заменить на СП и задать им обобщенные координаты.

Кинематическая цепь, состоящая из стойки, подвижных звеньев, СП и КП с указанием их вида и взаимного расположения, представляет собой структурную схему механизма. Ее

используют при проведении структурного анализа механизма, который проводят с применением структурных формул, в результате чего определяют подвижность механизма.

Подвижность механизма указывает на то, сколько управляемых обобщенных координат необходимо задать, чтобы привести механизм в управляемое движение, т.е. сколько необходимо установить приводов в СП. В общем случае одна СП может сообщить механизму несколько подвижностей.

Следует различать понятия «Подвижность механизма» и «Число степеней свободы выходного звена механизма». Подвижность механизма – число управляемых обобщенных координат. Число степеней свободы выходного звена механизма – число независимых возможных его движений.

Выходное звено механизма не может иметь число степеней свободы больше шести (свободное тело в пространстве имеет шесть степеней свободы), в то время как подвижность механизма может быть значительно больше шести (например, у робота).

Аналитические зависимости между подвижностью механизма и его структурными параметрами называют структурными формулами. Первая структурная формула для определения подвижности плоских механизмов была предложена П.Л. Чебышевым [2]

$$W_{\Pi} = 3n - \sum_{i=4}^5 (i - 3)p_i, \quad (1)$$

где W_{Π} – подвижность плоского механизма; n – число подвижных звеньев механизма; i – класс КП; p_i – число КП i -го класса; цифра 4 относится к высшим КП; цифра 5 – к низшим КП.

Подвижность W пространственных механизмов определяют по формуле, предложенной А.П. Малышевым [3]

$$W = 6n - \sum_{i=1}^5 ip_i. \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) не позволяют всегда для различных механизмов правильно определить их подвижность.

Выясним, что же не учитывают эти формулы. Закрытые механизмы состоят из замкнутых контуров, разомкнутые – могут иметь местные замкнутые контуры.

Плоские замкнутые механизмы требуют высокой точности изготовления и сборки, иначе за счет перекосов осей кинематических пар и деформации звеньев при принужденной сборке в КП увеличивается трение, что может привести к заклиниванию механизма. Аналогично заклинивание может произойти и в пространственных разомкнутых механизмах с местными плоскими замкнутыми контурами. Поэтому такие механизмы необходимо рассматривать как пространственные с избыточными контурными связями (ИКС).

Каждый замкнутый контур может накладывать на относительное движение звеньев некоторое количество ИКС, приводящих к ухудшению функционирования механизма. Особенно это проявляется, когда оси КП механизма не параллельны между собой. Поэтому Л.Н. Решетов предложил в формулу (2) ввести дополнительный член S , учитывающий общее число ИКС всего механизма. В результате формула (2) приобрела вид [3]:

$$W_0 = 6n - \sum_{i=1}^5 ip_i + S, \quad (3)$$

где W_0 – подвижность основной структурной схемы механизма, т.е. структурной схемы, содержащей минимальное число подвижных звеньев и КП.

В выражении (3) два неизвестных параметра – W_0 и S . Для его решения необходимо каким-либо образом определить один из них.

В настоящее время W_0 определяют из рассмотрения структурной схемы механизма: в более простых случаях на основе геометрических соображений без каких-либо аналитических

расчетов, в более сложных случаях путем исследования функций положения звеньев [4] (в большинстве случаев принимают $W_0 = 1$).

Тогда число ИКС механизма находят по формуле

$$S = W_0 - 6n + \sum_{i=1}^5 ip_i. \quad (4)$$

Зависимость (4) позволяет при известном W_0 определить только общее число ИКС всего механизма. Но он может состоять из нескольких замкнутых контуров, и каждый контур может обладать определенным числом ИКС. Эта формула не позволяет их определить и правильно устранить.

Данный подход к определению ИКС не совсем надежен, так как выделить в механизме основную структурную схему и определить ее подвижность довольно сложно.

Также в формуле (4) не учтены такие структурные особенности механизма, как лишние контурные подвижности (ЛКП) (возможность звена поворачиваться вокруг своей продольной оси или нескольких звеньев вокруг их общей оси вращения, не оказывая влияния на функциональные возможности механизма), лишние звенья (звенья, которые не оказывают влияния на его функциональные возможности, но влияют на качество работы) (ЛЗ) и метрические (пассивные) контурные связи, которые повторяют ограничения на относительные движения звеньев в механизме (МКС), что не позволяет корректно проводить структурный анализ механизмов.

Целью работы является разработка метода структурного анализа механизмов с учетом ИКС, ЛКП, ЛЗ, МКС и указания способов их устранения.

Подвижность пространственных и плоских механизмов необходимо определять по формуле

$$W = 6n - \sum_{i=1}^5 ip_i + \sum_{j=1}^k S_j - \sum_{r=1}^k Z_r + \sum_{t=1}^k T_t, \quad (5)$$

где k – число замкнутых контуров, определяемых по формуле Х.И. Гохмана [1]

$$k = \sum_{i=1}^5 p_i - n. \quad (6)$$

Замкнутые контура должны быть независимыми, т.е. отличаться друг от друга хотя бы одним звеном; S_j – число избыточных связей j -го замкнутого контура механизма; Z_r – число лишних звеньев r -го контура механизма; T_t – число метрических связей t -го контура механизма.

Плоский замкнутый контур механизма, образованный КП только 5-го класса накладывает на относительные движения звеньев три ИКС [2]. Они возникают из-за не параллельности осей КП. Если КП в замкнутом контуре, кроме 5-го класса, могут быть 4, 3, 2 и 1-го классов, т.е. иметь дополнительные подвижности, то число ИКС j -го замкнутого контура изменится и его необходимо определять по формуле

$$S_j = 3 - \sum_{i=1}^5 (m - i)p_i, \quad (7)$$

где p_i – число КП i -го класса замкнутого контура, которые не были рассмотрены ранее в других контурах; m – модификатор, учитывающий тип КП:

$$m = \begin{cases} 5 - \text{для низших КП (5, 4 и 3 - го классов);} \\ 4 - \text{для высших КП (2 и 1 - го классов).} \end{cases}$$

Отрицательные значения S_j указывает на то, что появились лишние контурные подвижности (ЛКП).

Наличие ИКС и ЛКП в структурной схеме механизма говорит о том, что механизм обладает структурной избыточностью.

Структурная избыточность всего механизма

$$S_{\Sigma} = \sum_{j=1}^k S_j, \quad (8)$$

где k – число замкнутых контуров.

Устранение избыточных контурных связей осуществляют понижением класса некоторых КП, лишние контурные подвижностей – повышением класса некоторых КП.

Также в контурах механизма, состоящих из трех и более звеньев, могут быть ЛЗ, которые не оказывают влияния на его функциональные возможности, но влияют на качество работы. Например, ролик в кулачковом механизме толкателя является лишним звеном. Если его убрать и применить тарельчатый толкатель, то функциональные возможности механизма не изменятся, но ухудшится качество его работы, т.е. трение качения между кулачком и роликом превратится в трение скольжения, при этом вырастет износ кулачка и потребуются увеличение мощности привода.

Число ЛЗ механизма следует определять по формуле

$$Z = \sum_{i=1}^5 (5 - m) p_i. \quad (9)$$

В замкнутых контурах механизмов могут появляться метрические контурные связи (МКС). Они накладывают повторяющиеся ограничения на относительное движение звеньев.

Число метрических связей каждого контура можно определять по формулам:

для механизмов с одним замкнутым контуром

$$T = 0,5 \left(\frac{2,5 - n_k}{|2,5 - n_k|} + 1 \right), \quad (10)$$

где n_k – число подвижных звеньев замкнутого контура;

для механизмов, содержащих несколько замкнутых контуров

$$T = 0,25 \left(1 - \frac{n_k - 3,5}{|n_k - 3,5|} \right) \left(\frac{1,5 - n'_k}{|1,5 - n'_k|} + 1 \right), \quad (11)$$

где n'_k – число подвижных звеньев замкнутого контура, не входящих в другие контуры.

Формулы справедливы для расчета контуров, образованных КП 5, 4 и 3 классов. Контур, содержащий хотя бы одну КП 2-го или 1-го классов, МКС не имеют.

Наличие ЛЗ и МКС в механизме указывает на то, что он обладает конструктивной избыточностью

$$N_{\Sigma} = \sum_{r=1}^k Z_r + \sum_{t=1}^k T_t. \quad (12)$$

Число степеней подвижности механизма следует определять по формуле

$$H = n - \sum_{j=1}^k A_j, \quad (13)$$

где A_j – показатель числа звеньев контура.

Для многоконтурных механизмов его значения равны:

$$A_j = \begin{cases} 2, & \text{если контур состоит из двух и более подвижных звеньев, принадлежащих} \\ & \text{только одному контуру;} \\ 1, & \text{если контур включает в себя одно звено, принадлежащее только данному} \\ & \text{контуру.} \end{cases}$$

Для механизмов, содержащих один контур:

$$A_j = \begin{cases} 2, & \text{если контур состоит из трех и более подвижных звеньев;} \\ 1, & \text{если контур состоит из двух подвижных звеньев.} \end{cases}$$

Предложенный метод структурного анализа механизмов позволяет определять число избыточных контурных связей, лишних контурных подвижностей, лишних звеньев,

метрических контурных связей и указывает способы их устранения, что дает возможность проектировать механизмы без структурной и конструктивной избыточности. При этом уменьшается износ элементов кинематических пар, улучшаются условия функционирования механизма, возрастает качество его работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров О.Д. Конструирование механизмов роботов. Учеб./ О.Д. Егоров. – М.: Абрис, 2012. 444с.
2. Теория механизмов и механика машин: Учеб. для вузов/ К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов/ Под ред. К.В. Фролова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1998. 496с.
3. Решетов Л.Н. Самоустанавливающиеся механизмы. Справочник. – М.: Машиностроение, 1979. 334с.
4. Механика машин: учеб. пособие для вузов/ И.И. Вульфсон, М.Л. Ерихов, М.З. Коловский/ Под ред. Г.А. Смирнова. – М.: Высш. шк., 1996. 511с.

УДК 621.926

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СМЕШИВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СУХИХ СМЕСЕЙ ENERGY EFFICIENCY EQUIPMENT FOR MIXING OF DRY CONSTRUCTION COMPOSITIONS

**Юлия Викторовна Бражник*, Николай Петрович Несмеянов*,
Руфат Шовкетович Абиев**
Yulia V. Brazhnik*, Nikolay P. Nesmeyanov*, Rufat Sh. Abiev****

* *Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Россия, Белгород*

**Belgorod state technological University named after V. G. Shukhov, Russia, Belgorod
(e-mail: brazhnik_yuliy@mail.ru)*

***Санкт-Петербургский государственный технологический институт,
Россия, Санкт-Петербург*

***St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University), Russia, St. Petersburg
(e-mail: abiev.rufat@gmail.com)*

Аннотация: Рассмотрены особенности процесса смешивания сухих строительных смесей в лопастном смесителе с высокоскоростным режимом смешивания, найдены оптимальные геометрические и технологические параметры.

Abstract: The features of the mixing process of dry construction compositions in a paddle mixer with high-speed mixing mode are considered, the optimal geometric and technological parameters are found.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, лопастной смеситель, энергосбережение.

Keywords: dry construction compositions, paddle blade-type mixing machine, energy saving.

В настоящее время смесительное оборудование, используемое на отечественных производствах сухих строительных смесей (ССС), не в полной мере отвечает возрастающим требованиям к повышению однородности готового продукта. Недостаточный уровень технической вооруженности предприятий и малоэффективные технологические схемы производства часто не позволяют обеспечить требуемый уровень качества и, что особенно важно, стабильность заданных характеристик строительных смесей сложного модифицированного состава.

На основании многочисленных исследований и производственной практики можно сказать, что повышение степени однородности смеси и снижение энергетических и технико-

эксплуатационных затрат предприятия могут дать лишь способы, обеспечивающие высокую интенсивность энергетических воздействий на смешиваемые компоненты.

Поэтому, создание смесителей, как одного из наиболее значимых видов оборудования в технологической цепочке производства сухих строительных модифицированных смесей, с высоким уровнем энергетического воздействия на смешиваемые компоненты при минимизации потребляемых энергоресурсов и достижении готовой смесью всех заданных физико-технологических свойств является актуальной задачей.

Объектом исследования является лопастной смеситель с высокоскоростным режимом смешивания для получения сухих строительных смесей. Предметом исследования является процесс смешивания в высокоскоростном лопастном смесителе при изменении его конструктивно-технологических параметров.

Целью проводимой работы является повышение качества готового продукта и снижение энергоемкости процесса смешивания путем создания псевдооживленного слоя с дополнительными циркуляционными потоками движения частиц в высокоскоростном лопастном смесителе.

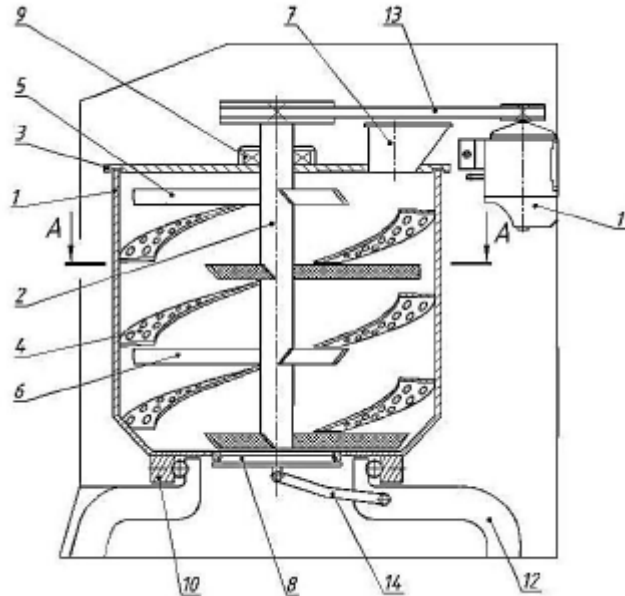
Проведенный анализ современных конструкций высокоскоростных смесителей для получения сухих смесей, а также методик расчёта их конструктивно-технологических параметров, позволил выявить существующие недостатки и определить пути совершенствования данных конструкций.

С целью повышения эффективности процесса смешивания сухих компонентов и улучшения качества однородности получаемой смеси предложена конструкция лопастного смесителя принудительного действия с вертикальным расположением лопастного вала [1] (рис. 1).

Смеситель состоит из цилиндрического барабана 1, установленного в опоре 10, которая закреплена на основании 12. Для выгрузки смеси в нижней части барабана имеется люк, который закрывается крышкой 8 с помощью рычага 14. Внутри цилиндрического барабана 1 консольно установлен вертикальный вал 2, который закреплен в подшипниковом узле 9 неподвижной крышки 3. На валу, в каждом из рядов, устанавливаются по три лопасти 6, повернутых относительно друг друга на 120° . При этом соседние лопасти каждого ряда повернуты относительно друг друга на 60° . Форма торцов лопастей нижнего ряда вертикального вала аналогична форме днища барабана смесителя, а лопасти 5 последнего (верхнего) ряда имеют обратный угол установки по отношению к лопастям нижних рядов. На внутренней стенке смесительного барабана 1 жестко закреплены винтовые поверхности лопастей барабана 4, установленные по спирали. Они выполнены в виде трехзаходной винтовой спирали с разрывами в плоскостях вращения лопастей вертикального вала. Эти винтовые поверхности лопастей барабана имеют перфорированную рабочую поверхность с размером отверстий, в 5...7 раз превышающих размер частиц смешиваемых компонентов. При этом «живое сечение» винтовой поверхности лопастей барабана ($C = F_{\text{отв}}/F_{\text{общ}} \cdot 100\%$), т.е. общая площадь всех отверстий должна составлять не менее 30-50% от всей рабочей площади винтовой поверхности лопастей барабана.

Смеситель для перемешивания сыпучих материалов работает следующим образом: смешиваемые компоненты загружаются через патрубок 7, закрепленный на неподвижной крышке 3 в верхней части смесительного барабана и попадают внутрь его, где, под собственным весом, падают вниз и скапливаются в нижней, донной части барабана 1. После загрузки исходных компонентов в барабан смесителя включается электродвигатель 11, приводящий во вращение через клиноременную передачу 13 вертикальный вал 2 с лопастями. В результате вращения вертикального вала 2, его лопасти 6 каждого ряда кроме верхнего, набрасывают смешиваемые компоненты на верхний ряд винтовых перфорированных поверхностей лопастей 4 барабана 1, закрепленных по спирали на его внутренней поверхности. Это позволяет перемещаться смеси не только в горизонтальном, но и, что очень важно, в вертикальном направлениях. Попав на винтовые поверхности лопастей 4 барабана 1, часть смеси перемещается вверх и сбрасывается с лопастей, а остальная часть просыпается из

образовавшихся застойных зон через имеющиеся на рабочей поверхности лопастей барабана отверстия, где подхватывается лопастями вала и снова набрасывается на следующий ряд винтовых поверхностей лопастей барабана. Таким образом смесь достигает верхней части барабана 1 смесителя, где лопасти 5, имеющие обратный угол установки, относительно лопастей нижних рядов вертикального вала, «срезают» движущуюся вверх смесь с перфорированных лопастей барабана последнего (верхнего) ряда и направляют ее вниз, навстречу основному потоку. После разгрузки смесителя через крышку 8 процесс повторяется.



1 – барабан, 2 – вертикальный вал, 3 – неподвижная крышка, 4 – винтовые поверхности лопастей барабана, 5 – верхний ряд лопастей вертикального вала, 6 – лопасти вертикального вала, 7 – загрузочный патрубок, 8 – крышка разгрузочная, 9 – подшипниковый узел вертикального вала, 10 – опора барабана, 11 – электродвигатель, 12 – основание смесителя, 13 – клиноременная передача, 14 – рычаг.

Рисунок 1 – Лопастной смеситель принудительного действия для сухих смесей [1]

Интенсивный характер движения материала по перфорированной поверхности лопастей барабана смесителя обеспечивает создание дополнительных циркуляционных потоков движения компонентов смеси из застойных зон смесителя.

Таким образом, предложенная конструкция смесителя с высокоскоростным режимом смешивания сыпучих материалов, находящихся в псевдооживленном состоянии, позволит улучшить качество смеси и повысить степень разгрузки готового продукта за счет множественных дополнительных потоков движения частиц материала, способствующих перемещению компонентов смеси как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях внутри барабана смесителя.

Был проанализирован процесс движения частиц материала в высокоскоростном лопастном смесителе и выдвинуто предположение о форме зоны смешивания при псевдооживлении компонентов загрузки. На основании схемы сил, действующих на частицу смеси, получено аналитическое соотношение, определяющее геометрию и объем воронки V_B , образующейся в результате псевдооживления смеси, а так же выражение, показывающее изменение коэффициента разрыхления k в зависимости от конструктивных и технологических параметров смесителя.

Анализ зависимости (рис. 2) величины потребляемой смесителем полной мощности при изменении частоты вращения ω и угла атаки лопасти вертикального вала α показал, что: минимальное значение, равное 1,5 кВт, достигается при угле атаки лопасти вала $\alpha = 50^\circ$ и

частоте вращения $\omega = 6 \text{ с}^{-1}$; максимальное значение, равное 4,2 кВт, достигается при угле атаки лопасти вала $\alpha = 10^\circ$ и частоте вращения смеси $\omega = 8 \text{ с}^{-1}$; при этом увеличение угла атаки лопасти вертикального вала в 5 раз уменьшает потребляемую мощность в 1,7 раза, а увеличение частоты вращения смеси в 1,3 раза увеличивает потребление энергии в 2,6 раза.

Для проведения исследований влияния конструктивно-технологических параметров на процесс смешивания была изготовлена полупромышленная установка лопастного смесителя с высокоскоростным режимом работы (рис. 3).

Исследования процесс смешивания различных материалов на натурной модели подтвердили правильность теоретических предположений о форме зоны смешивания, характере движения частиц смеси, а также о целесообразности использования винтовых перфорированных поверхностей лопастей барабана. После обработки результатов экспериментальных исследований получены адекватные уравнения регрессии в кодированном виде, характеризующие зависимость функций отклика от варьируемых факторов [2].

В ходе анализа функций отклика в зависимости от варьируемых факторов были определены оптимальные параметры работы лопастного смесителя с высокоскоростным режимом работы: частота вращения вертикального вала 470 мин⁻¹; угол атаки лопастей вертикального вала 35 °; величина «живого сечения» винтовой поверхности лопастей барабана 46%. При этом $\sigma_o=16,5 \text{ МПа}$, $Vc=5,9\%$, $q=1,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ [3].

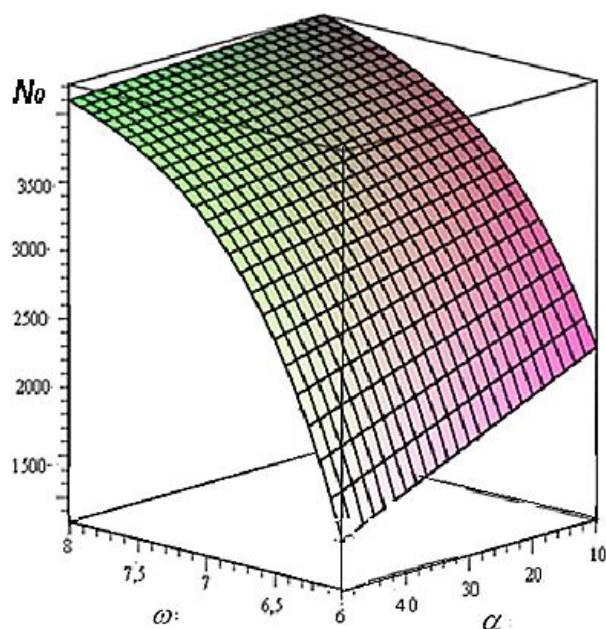


Рисунок 2 – График зависимости полной мощности N_0 при изменении частоты вращения ω и угла атаки лопасти α .



Рисунок 3 – Экспериментальная полупромышленная установка для исследования процесса смешения ССС.

Выводы

Для усовершенствования процесса смешивания предложена конструкция лопастного смесителя принудительного действия, позволяющая создать дополнительные циркуляционные потоки движения частиц материала в различных направлениях. Установлены закономерности движения твердых частиц смешиваемых сухих компонентов в случае псевдооживленного состояния сыпучего материала.

Получены уравнения, позволяющие определять геометрические параметры воронки, образующейся в результате вихревого движения частиц. Разработана математическая модель движения частиц в вихревой зоне смесительного барабана, устанавливающая конструктивные особенности лопастного смесителя. Получены аналитические зависимости, описывающие

скоростной режим движения частиц смеси с учетом образования псевдооживленного слоя. Разработана математическая модель изменения коэффициента разрыхления смеси, учитывающая конструктивные и технологические параметры лопастного смесителя. Получено аналитическое выражение для определения полной мощности, потребляемой лопастным смесителем. Выявлено, что наибольшее влияние на изменение мощности оказывают угол атаки лопасти и частота вращения смеси внутри барабана смесителя.

Исследован процесс смешивания в экспериментальной установке лопастного смесителя с высокоскоростным режимом работы на основе математического планирования эксперимента.

Промышленная апробация результатов работы проведена на ООО «Боникс» и ООО «Новатор», г. Белгород, которая показала повышение качества готового продукта, а именно: предел прочности на отрыв клеевых соединений увеличился на 1,9 МПа (13%), коэффициент неоднородности смеси снизился на 22% при снижении энергозатрат на процесс смешивания на 11%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 154251 Российская Федерация, МПК В01F9/10. Смеситель для перемешивания сыпучих материалов / Н.П. Несмеянов, В.С. Богданов, Ю.В. Бражник, П.С. Горшков; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова.

2. Бражник, Ю.В. Математическое описание формы огибающей свободной поверхности сыпучего материала в лопастном смесителе / Ю.В. Бражник, В.П. Воронов, Н.П. Несмеянов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. №1. С. 78-80.

3. Несмеянов, Н.П. Определение основных рабочих параметров смесительного оборудования на примере спирально-лопастного смесителя / Н.П. Несмеянов, П.С. Горшков, Ю.В. Бражник, М.Г. Матусов // Фундаментальные исследования. 2015. № 7-1. С. 71-75.

УДК 621.791.9 + 658

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ И УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF REVITALIZING AND STRENGTHENING TECHNOLOGIES

Владимир Александрович Коротков
Vladimir A. Korotkov

Нижнетагильский филиал Уральского федерального университета, Россия, Нижний Тагил
Nizhny Tagil branch of the Ural Federal University. Russia, Nizhny Tagil
(vk@udgz.ru)

Аннотация: Восстановление изношенных деталей исключает их переплав в металлургических печах, что снижает ремонтные расходы и загрязняющее воздействие на окружающую среду, позволяет эффективно решать проблему замещения импорта. Восстановление может сопровождаться упрочнением. Это сокращает частоту ремонтов оборудования, уменьшает объем сопутствующих загрязнений в виде промывочных жидкостей, ветоши. Проанализировано применение малоизвестных технологий упрочнения (плазменная закалка, карбонитрация), которые удобно и экономично могут применяться в условиях мелкосерийного производства запасных частей на ремонтных участках крупных и малых предприятий.

Annotation: Restoration of worn parts eliminates their remelting in metallurgical furnaces, which reduces repair costs and polluting the environment, can effectively solve the problem of import substitution. Recovery can be accompanied by hardening. This reduces the frequency of equipment repairs, reduces the amount of associated pollution in the form of washing liquids, rags.

The application of little-known hardening technologies (plasma hardening, carbonitration), which can be conveniently and economically used in small-scale production of spare parts in repair areas of large and small enterprises, is analyzed.

Ключевые слова: экология, экономика. восстановление, упрочнение, наплавка, карбонитрация.

Key words: ecology, economy. restoration, hardening, surfacing, carbonitration.

Введение.

В сфере машинного производства экологическую проблему создают изношенные детали, а также ветошь, моющие средства и проч. материалы, расходующиеся при их заменах в ходе ремонтов [1]. Традиционная «сдача в металлолом» изношенных деталей существенного улучшения экологии не дает, т.к. в этом случае имеет место их переплав в металлургических печах, заметно влияющий на загрязнение окружающей среды. Существует практика использования остаточного ресурса изношенных деталей [2], однако это влечет увеличение числа ремонтов и сопутствующего им экономического и экологического ущерба.

Известно, что износ рабочих поверхностей лишь незначительно уменьшает массу деталей, поэтому восстановление износа, по сравнению с изготовлением новой детали, дает уменьшение загрязняющего воздействия. Снизить экологический вред от замены изношенных деталей (ремонтов) можно также замедлением интенсивности изнашивания, что влечет за собой сокращение количества ремонтов. Для этого применяются методы упрочнения, которые нередко удобно совмещаются с методами восстановления изношенных деталей.

Целью настоящей работы является обзор, применяемых в Уральском регионе на протяжении последней четверти века, инновационных технологий восстановления и упрочнения деталей оборудования, обеспечивающих экологический и экономический эффекты.

Наплавка.

Это наиболее распространенный способ восстановления изношенных деталей. В 1994г, специализирующимся на восстановлении деталей, предприятием ООО «Композит» впервые в отрасли, наплавкой была восстановлена изношенная шейка конусного, 50и тонного, вала одной из 3-х дробилок Качканарского горно-обогатительного комбината (КГОК). Стоимость восстановления составила менее 10% от стоимости нового вала, такому же уровню соответствует и экологический эффект. Одновременно наплавка предупредила потерю комбинатом 33,3% своей выработки от простоя дробилки в течение 8мес, которые были необходимы для изготовления нового вала. Столь высокая эффективность восстановления предопределила, что в последующие годы для комбината сваркой и наплавкой восстановили более 20-ти подобных валов, в т. ч. восстановлению подлежали дорогостоящие импортные валы, что существенно снизило закупочные расходы и объемы утилизации отходов [3].

Массивными как валы конусных дробилок являются плунжеры и плунжерные цилиндры гидравлических прессов. В отличие от шеек валов дробилок, они изнашиваются не только трением, но и от воздействия коррозии и кавитации. Это предопределило применение для восстановления нержавеющей сталей, которыми многократно увеличен срок службы. Высокая стойкость против изнашивания рабочих поверхностей плунжеров и цилиндров благоприятно отразилась на уплотнениях. Их состояние стабильным, что устранило течь технической воды во время работы прессов, и загрязнение околопрессового пространства. Плунжера насосов высокого давления (320атм) имеют небольшие размеры (диаметр 65...90мм, длина – около метра), и, на первый взгляд, вред экологии и экономике от их повышенного расхода не может быть значительным. Однако коррозионные и кавитационные повреждения вызывают быстрый износ уплотнений и обильную течь воды. Чтобы вода не растекалась по цеху, насосные станции располагают в углублениях, что делает удобным откачивание ее помпами. Безусловно, частая замена плунжеров и откачивание воды с полов насосных станций наносят вред экономике и экологии. Поэтому, в 70-е годы прошлого века была разработана технология азотирования плунжеров насосов. Это увеличило их срок

службы от 1 мес. до 6 мес., однако проблема течи воды сохранилась. Тонкий азотированный слой (менее 0,3мм), склонен к локальным (питтинговым) разрушениям, что не позволило увеличить долговечность уплотнений. В преодолении этого недостатка в 90-е годы в ООО Композит была разработана технология наплавки на тонкие плунжеры толстого слоя нержавеющей стали. Это дало увеличение сроков службы плунжеров до 3-х лет, повысило сохранность уплотнений, устранило скопление воды на полах насосных станций и потребность в ее откачке [4].

Разновидностью наплавки является электроискровая обработка, или так называемое ЭИЛ (электроискровое легирование). Она создает на поверхности тонкое 0,05...0,25мм, но прочное покрытие. Его удобно использовать для восстановления посадочных мест под подшипники качения, износ которых, как правило, соизмерим с толщиной покрытия, которая регулируется режимом его нанесения. В результате восстановленные шейки валов сразу получают требуемый размер и не нуждаются в финишной шлифовке. Это экономит затраты не только на само восстановление, но и на монтажные работы, т. к. восстановление в этом случае производится прямо по месту эксплуатации ремонтируемого оборудования, например шахтных щековых дробилок и подъемных машин. [5].

Упрочняющие технологии.

В настоящее время насчитывается более 100 способов упрочнения поверхностей. Большинство из них взаимозаменяемые, что обеспечивает большую вероятность успеха в случае использования любого из них. Поэтому предприятия, производящие машиностроительную продукцию, ограничиваются применением способов из небольшого перечня: печная закалка с высоким отпускком, закалка ТВЧ, гальваническое хромирование, цементация, азотирование и некоторые другие. Часть деталей при эксплуатации изнашивается быстрее других. Для их замены изготавливают новые детали, получившие название «запасных частей». Не редко их изготавливают малые предприятия или ремонтно-механические цеха крупных горно-металлургических предприятий. И те, и другие, обычно не обладают надлежащим набором термического оборудования, поэтому, изготавливаемые ими запчасти, выпускаются без надлежащего упрочнения, и становятся причиной частых ремонтов, сопровождающихся экономическим и экологическим ущербом.

Вместе с тем существуют технологии карбонитрации и плазменной закалки, позволяющие без существенного удорожания продлевать срок службы деталей, не имеющих упрочнения.

Карбонитрация разработана в СССР в 70-х годах и представляет собой насыщение поверхности азотом и углеродом в расплаве цианата калия [6]. Получаемая твердость аналогична твердости при газовом азотировании, но процесс вместо 50 ч длится всего 2 ч. При этом она увеличивает твердость не только легированных, но и недорогостоящих углеродистых сталей, табл. 1. Это позволяет первые заменять вторыми, что дает, кроме экономического, также экологический эффект, ибо при выплавке легированных сталей негативное воздействие на окружающую среду выше, чем при выплавке углеродистых сталей.

Таблица 1 – Твердость различных марок стали

| Марка стали | 30 | 45 | 40X |
|--|---------|---------|---------|
| Твердость, HV (до / после карбонитрации) | 160/350 | 180/500 | 220/500 |

Плазменная закалка установкой УДГЗ-200 разработана в 2002г. Сварщик закалочной горелкой, как маляр кистью, проводит по поверхности (рис. 1), оставляя закаленные полосы, которые размещает с некоторым перекрытием. Такая технология упрочнения дает возможность упрочнять рабочие поверхности на крупногабаритных деталях, которые не пригодны для упрочнения с нагревом в печах или в высокочастотных индукторах. Плазменная закалка не нуждается в значительных объемах воды или масла (для быстрого охлаждения нагретых деталей), представляющих собой загрязняющий фактор. В ходе ее непрерывно-

последовательно нагреваются малые объемы металла, для быстрого охлаждения которых достаточно отвода тепла в тело детали посредством теплопроводности. Таким образом, плазменная закалка является не только менее энергоемкой по сравнению с печной, но и менее загрязняющей [7].

Таблица 2 – Влияние финишного упрочнения (карбонитрацией или плазменной закалкой) на трудоемкость изготовления деталей

| Типовой технологический процесс с печной термической обработкой | Технологический процесс изготовления деталей с финишным упрочнением |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Черновая механообработка детали. 2. Перевозка на термический участок (цех, завод). 3. Проведение предварительной термической обработки (нормализация или улучшение). 4. Перевозка на механический участок (цех, завод). 5. Чистовая механообработка. 6. Перевозка на термический участок (цех, завод) для упрочняющей термической обработки 7. Упрочняющая термическая обработка (цементация, закалка ТВЧ, или др.). 8. Перевозка на участок (цех, завод) финишной шлифовки. 9. Финишная шлифовка | <ol style="list-style-type: none"> 1. Черновая и чистовая механообработка детали. 2. Перевозка на участок финишного упрочнения плазменной закалкой или карбонитрацией, причем плазменная закалка установкой УДГЗ-20 может выполняться на механическом участке. 3. Карбонитрация или плазменная закалка (финишные операции) |

Обе технологии, карбонитрации и плазменной закали, относятся к категории финишных, т.е. производятся деталям, прошедшим чистовую механообработку. Возможность именно финишного упрочнения обеспечивается незначительным изменением качества поверхности и общих размеров деталей в ходе их проведения. Это существенно сокращает трудоемкость технологического процесса, обеспечивая экономический и экологический эффект, как у производителя запчастей, так и у их потребителя. Снижение трудоемкости происходит от сокращения технологических и транспортных операций: вместо девяти наименований остается только три, табл. 2.

Экономический эффект от применения карбонитрации и плазменной закали возникает как у производителя, так и у потребителя запасных частей. У производителя запчастей происходит снижение трудоемкости и себестоимости производства, появляется возможность поднятия цены за счет увеличения гарантийной наработки. Применение карбонитрации вместо закали ТВЧ валиков (сталь 45) рессорного подвешивания тележки экипажной части тепловозов ТГМ 6, ТЭМ 2 обеспечило требуемую твердость HRC~48. Одновременно на 20% снизило стоимость изготовления (за счет исключения финишной шлифовки после закали ТВЧ) и увеличило наработку валиков в 1,6 раза. Последнее дает преимущество в прохождении конкурсных процедур при получении заказа на изготовление валиков.

Иногда сложная конструкция деталей или штампов делает их склонными к образованию трещин и деформаций при объемной или закалке ТВЧ, что заставляет использовать их без упрочнения. Это имело место со штампами (сталь 40X) для формирования угла каната и сложно-объемной кузовной детали автомобиля. Проведение карбонитрации увеличило наработку штампов в 5,3 раза и в 1,8 раза, соответственно, при удорожании штампов всего на ~10%.

Применение карбонитрации валов-шестерней карьерного бурового станка СБШ-250 вместо закали ТВЧ в ~ 6...7 раз сократило их годовой расход. Это высвободило от ремонтов

часть фонда рабочего времени, что позволило выполнять увеличенный на 16% объем бурения меньшим на 13% числом станков, рис.1. Здесь важно отметить, что увеличение наработки валов-шестерен устранило внеочередные ремонты (до 4-х ремонтов в год) в карьере с сопутствующим их загрязнением.

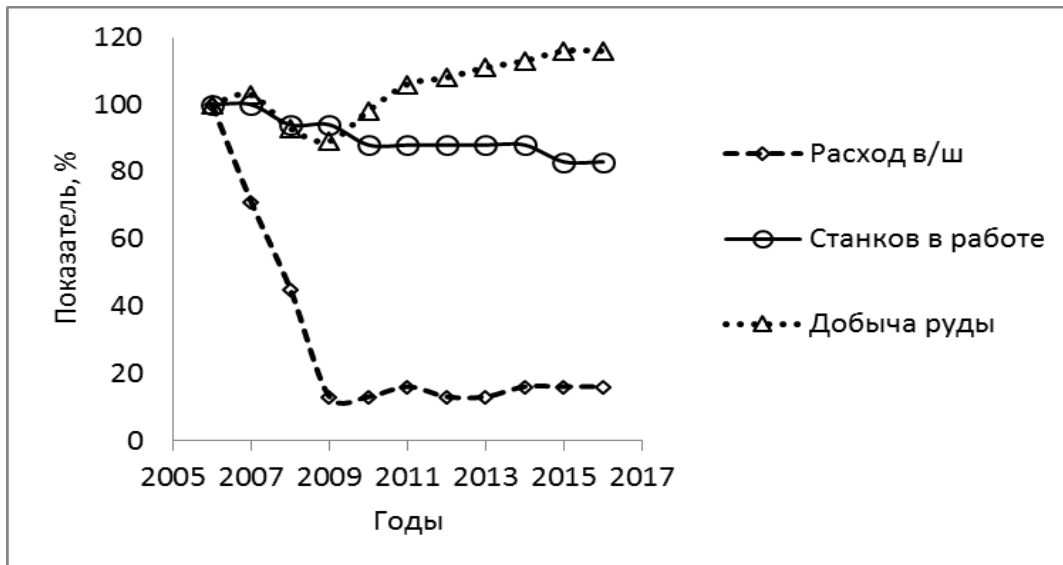


Рисунок 1 – Влияние карбонитрации валов-шестерней на технико-экономические показатели работы буровых станков СБШ-250.

Приводные шестерни (m-10, z-16) в открытой передаче укладчика, работающего с вагоно-опрокидывателем в агломерационном производстве, изнашивались в течение одной недели. Плазменная закалка увеличила твердость от HB250 до HB520; наработка при этом возросла до 4-х недель, т.е. в 4 раза. Зубчатые колеса (сталь 35, z-90, m-24) механизма подъема сталеразливочного крана грузоподъемностью 225т в результате закалки продлили срок службы в 2,8 раза. Эта технология применяется на металлургическом комбинате с 2004г по настоящее время. Подобный результат получен при плазменной закалке зубчатого венца рудоусреднительной машины. Из-за больших размеров венца (диаметр ~ 6м), закалка производилась на шихтовом дворе под открытым небом. Увеличение его срока службы в 3 раза позволило избежать 3-х ремонтов, каждый стоимостью ~10млн. руб. У барабана карьерного экскаватора ЭКГ-10 изнашивается лишь 1,5 витка, чаще всего участвующего в работе, но это заставляет проводить ремонтную проточку всего барабана. Плазменная закалка втрое увеличила срок службы барабана и одновременно на 20% продлился срок службы, используемого на данном барабане, каната.

Заключение.

Средством снижения экологического загрязнения от ремонтов механического оборудования может быть восстановление изношенных деталей, исключаящее их переплав в металлургических печах. Одновременно с экологическим эффектом восстановление массивных деталей (валы конусных дробилок, плунжеры и плунжерные цилиндры гидравлических прессов) обеспечивает значительный экономический эффект, кратно, до 10 раз, превышающий затраты на восстановление. Применение электроискрового метода позволяет выполнять восстановление прямо по месту эксплуатации деталей, исключая затратную финишную шлифовку, с существенным увеличением экономического эффекта. В результате износостойкой наплавки при восстановлении плунжеров прессов и насосов высокого давления достигается сопутствующий экологический эффект в виде устранения обильной течи технической воды через быстро изнашивающиеся уплотнения.

Радикальным средством уменьшения экологического вреда от ремонтов оборудования является снижение частоты их проведения. Эта задача решается увеличением сроков службы

быстроизнашивающихся деталей – основной причины ремонтов. Финишные технологии упрочнения карбонитрации и плазменной закалки одновременно позволяют сократить логистику технологических процессов изготовления запчастей и снизить остроту сопутствующих экологических проблем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологические аспекты при проведении утилизации самоходной техники. / В.С. Герасимов, В.И. Игнатов, И.А. Пехальский, В.А. Макуев, А.В. Сиротов. // Экология и промышленность России, 2018. № 4. С. 31...37.
2. Определение степени разборки утилизируемой техники на запасные части. / Н.В. Алдошин, И.Н. Кравченко, Н.А. Лылин, А.А. Ивлев, Ю.А. Лесконог // Строительные и дорожные машины, 2016. № 3. С. 34-41.
3. Восстановление конусов импортных дробилок «Сандвик». / Коротков В.А. Веснин А.М. Смирнов Ю.К. // Ремонт. Восстановление, Модернизация, 2011. №4. С. 5-7.
4. Жгунов М.А. Восстановление и упрочнение гидроплунжеров. // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2005. № 11. С. 29-33.
5. Коротков В.А. Применение электроискровой обработки при ремонте механического оборудования. // Вестник машиностроения, 2018. №1. С. 77...81.
6. Прокошкин Д.А. Химико-термическая обработка металлов – карбонитрация. М.: Машиностроение – Металлургия, 1984. – 240с.
7. <http://1m63.ru/katalog-stankov/udgz200/> (Обращение 20.01.2019)

**ПОДСЕКЦИЯ 1.2. «НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ,
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ
ЭНЕРГОРЕСУРСООЭФФЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ»**

УДК 691

**ГЕОНИКА (ГЕОМИМЕТИКА). ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
GEONIKA (OF GEODAETICA). THE THEORETICAL BASIS OF THE TECHNOLOGY
THAT RESEMBLE NATURAL ONES**

Валерий Станиславович Лесовик*, Александр Анатольевич Володченко
Valery S. Lesovik*, Alexander A. Volodchenko****

**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Россия, Белгород
(e-mail: naukavs@mail.ru)*

***ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН»,
Россия, Москва*

Аннотация: В статье приведены основные достижения полученные в ходе реализации теоретических положений, сформулированных в рамках трандисциплинарного научного направления геоника (геомиметика), которые способствуют созданию новейших методологических основ проектирования эффективных природоподобных строительных композитов различного назначения, способных не нарушать экологию окружающей среды и сохранять баланс между «биосферой» и «техносферой».

Abstract: The article presents the main achievements obtained during the implementation of the theoretical principles formulated within the framework of the transdisciplinary scientific field of geonics (geomimetics), which contribute to the creation of the latest methodological foundations for the design of effective nature-like building composites for various purposes, capable of not violating the ecology of the environment and maintaining a balance between the “biosphere” and the technosphere.

Ключевые слова: геоника (геомиметика), природоподобные технологии, техногенный метасоматоз в строительном материаловедении, закон сродства структур, строительные композиты, трандисциплинарность

Keywords: geonics (geomimetics), nature-like technologies, technogenic metasomatism in building materials science, the law of affinity of structures, building composites, transdisciplinarity.

Эволюция человечества предопределяется взаимоотношением органического и неорганического мира, скоростью познания мира, развитием науки и технологий, открытием и использованием объективно существующих законов и закономерностей. Особенно это актуально в настоящее время, можно сказать критическом этапе взаимоотношений органического и неорганического мира.

Внедрением возможностей четвертого технологического уклада существенно улучшена жизнь человека, значительно повысилась производительность труда, качество жизни, изменился дизайн среды обитания; но при этом серьезно ухудшилась экология, увеличилось разнообразие параметров негативного воздействия на человека.

Реализация возможностей пятого технологического уклада будет основываться на новых законах и закономерностях, электронной и атомной энергетики, информационных технологиях, инженерных - био и геотехнологиях и .т.д. Считаю главной задачей ученых всех специальностей на данном этапе – улучшение среды обитания человека. Это сложнейшая

проблема, которая может быть решена только с помощью трансдисциплинарных исследований в том числе геоники (геомиметики).

Основные направления геоники, которые рассматриваются в настоящее время, – это оптимизация системы «человек-материал-среда обитания», архитектурная геоника, освоение и строительство подземных пространств, проблемы развития (существования) органического и неорганического мира, разработка алгоритмов и моделей создание и управления объектами неорганического мира, использование энергетики геологических и космических процессов, разработка новых технологий получения минералов и композитов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Направления геоники

Но создавая строительные материалы мы не можем пока добиться качества и свойств природных аналогов. Например, пеностекло с плотностью 100-150 кг/м³ имеет предел прочности при сжатии 0,5 – 0,7 МПа, а поризованные базальты, вулканические поризованные породы с такой же плотностью имеют прочность в 5-6 раз больше. То же самое можно сказать и по ячеистому бетону гидратационного твердения или, например, кладочные растворы – это такая анизотропная текстура, которая полностью копирует (напоминает) полосчатые горные породы. Но если кладка из силикатного кирпича имеет предел прочности на разрыв примерно 1 МПа, то наиболее прочные полосчатые породы имеют предел прочности на разрыв до 70 МПа. Именно исследования микроструктуры горных пород дало нам возможность существенно улучшить качество аналогичных материалов.

Для защиты человека от негативных природных и техногенных воздействий нам нужны новые строительные материалы, природоподобные технологии их производства и новая сырьевая база [1-5].

В рамках теоретических положений геоники (геомиметики) снижение энергоемкости производства строительных материалов возможно за счет использования энергетики геологических и космохимических процессов, применения энергосберегающего сырья, специально подготовленного геологическими и космохимическими процессами.

Предложены технологии производства широкой номенклатуры композиционных вяжущих [6-8] (в том числе водостойких и морозостойких гипсовых вяжущих) с использованием новых видов сырья с высокой свободной внутренней энергией. К этим видам сырья относятся глинистые породы незавершенной стадии процессов минералообразования и зоны седиментогенеза, эффузивные горные породы с аморфной и скрытокристаллической структурой, кварцсодержащие породы зеленосланцевой стадии метаморфизма, для которых характерны дефекты кристаллической решетки, включения минералообразующей среды, газовоздушные включения, и др., а также некоторые виды техногенного сырья.

Полученные строительные композиты существенно превосходят традиционно выпускаемые по эксплуатационным характеристикам с экономией клинкерной составляющей на 50-70 %, и комфортные для среды обитания человека.

Сформулирован закон сродства структур для анизотропных материалов, предполагающий проектирование слоистых композитов и ремонтных систем на микро-, макро- и макро уровне аналогичных базовой матрице, что приводит к существенному повышению адгезии и долговечности материалов. Основой для формулировки закона стала информация, полученная при изучении природных аналогов анизотропных и изотропных строительных композитов (рисунок 2).

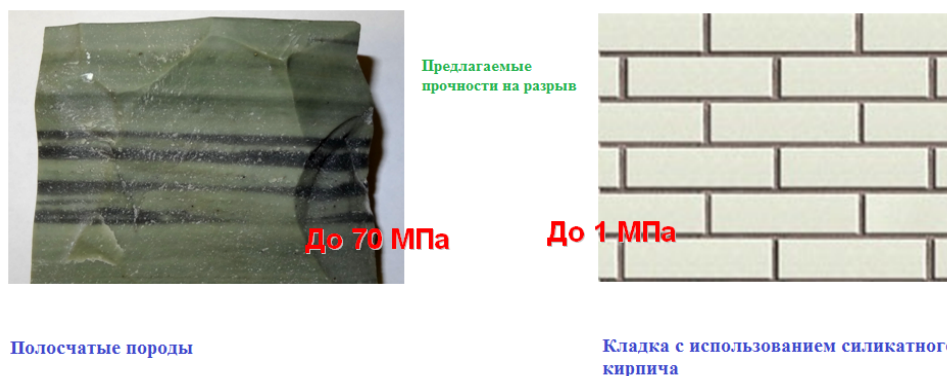


Рисунок 2 – Адгезия в зависимости от природы образцов

Установлено, что горные породы независимо от генезиса (магматические, метаморфические и осадочные) имеющие полосчатую текстуру, слои которых представлены минералами, у которых деформативные характеристики и коэффициент теплового расширения существенно отличается друг от друга, не только недолговечны, но и имеют коэффициент анизотропии 7-9 и более в отличие от прототипов- с коэффициентом анизотропии 2-3. Повышение предела прочности на разрыв кладки с предложенными составами в 3-5 раз объясняется микроструктурой контактной зоны, например керамического кирпича и раствора (рисунок 3). Разработанный кладочный раствор и стеновой материал практически единый монолит, а в конструкциях на традиционном вяжущем четко видна зона контакта – самое слабое место образцов.

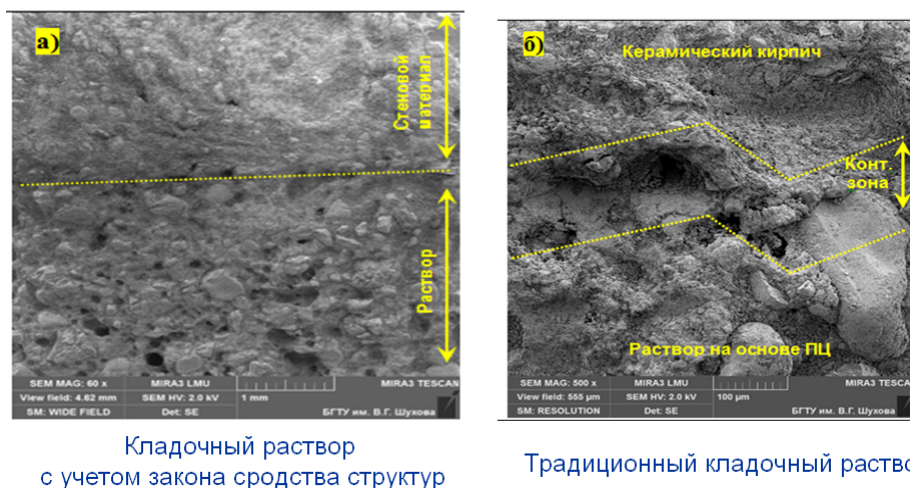


Рисунок 3 – Влияние составов кладочных растворов на строение контактной зоны

Реализация этого закона позволяет создать композит у которого все составляющие имеют близкие деформативные и температурные характеристики. Применение этого закона позволило создать реставрационные смеси, штукатурные, кладочные и ремонтные составы нового поколения применительно к каждому виду стенового материала.

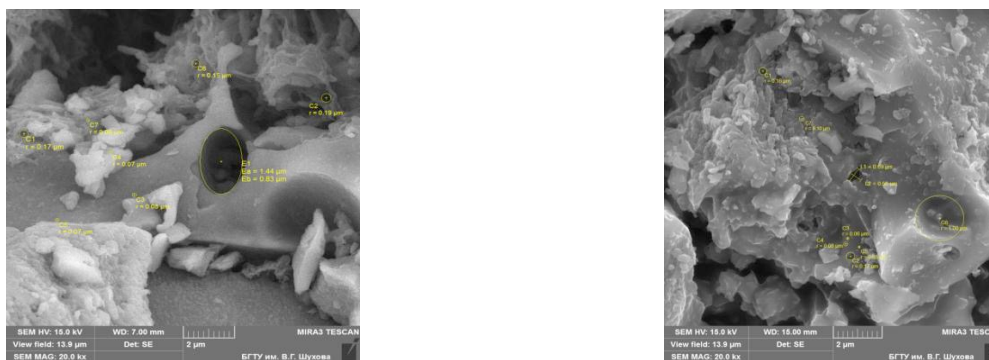
Предложена теория техногенного метасоматоза в строительном материаловедении. Это стадия в эволюции строительного материаловедения, характеризующаяся приспособлением композита к изменяющимся при эксплуатации зданий и сооружений условиям.

Одним из механизмов техногенного метасоматоза являются противоречия между вещественным составом и структурой строительных композитов и новыми термодинамическими условиями, в которые они попадают во время строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Это сложнейшие процессы, включающие перекристаллизацию, диффузию, дегидратацию, кристаллохимические превращения, трансформацию в кристаллических решетках минерала, аутогенез (выделение твердой фазы и растворы) и т.д.

Проектирование строительных композитов с учетом теории техногенного метасоматоза в строительном материаловедении позволяет предусмотреть возможность самозалечивания дефектов, возникших при эксплуатации зданий и сооружений и получать так называемые «интеллектуальные» композиты. Это материалы при проектировании которых заложена система взаимодействия с окружающей средой, позволяющая им реагировать на внешние воздействия путем «самозалечивания» появившихся дефектов и положительно влияющая на триаду «человек-материал- среда обитания».

Предлагаемый подход апробирован на композиционных вяжущих на основе туфа, создающих наиболее благоприятные условия на ранних стадиях структурообразования и твердения систем. Это приводит к снижению напряжений в твердеющем композите и, как следствие, к уменьшению количества и размеров микротрещин, что предопределяет технико-экономическую эффективность применения КВ на основе туфа, особенно в условиях сухого и жаркого климата. Известно, что вулканический туф является гетеропористой горной породой. Поровое пространство данной породы, является весьма сложным по своей форме и состоит из сочетания пор различных размеров (рисунок 4).

Вода в породе находится в сложном взаимодействии с ее минеральным каркасом, границы и соотношения между ними условны и постоянно изменяются: пар; химически и физически связанная вода; свободная и гравитационная вода.



а)

б)

а - вулканического туфа; *б* - туфового порошка

Рисунок 4 – Микрофотографии поверхности

В условиях жаркого климата, когда наблюдается дефицит жидкой фазы в самом бетоне, частички туфа, входящие в состав вяжущего, в процессе твердения будут отдавать запасенную ими капиллярно-удержанную воду, это приводит к активизации процессов структурообразования и синтезу более плотной однородной структуры материалов в процессе твердения и эксплуатации бетонов.

Выводы

Таким образом, междисциплинарный и монодисциплинарный подходы в строительном материаловедении способствовали разработке широкой номенклатуры строительных

композитов, основной задачей которых было строительство прочных и долговечных сооружений. Представляется, что новой парадигмой в настоящее время является создание композитов для оптимизации системы «человек-материал-среда обитания», т.е. создается комфортная среда обитания человека: учитывая то, что в окружении строительных композитов человек находится до 70-90% своей жизни. Это важнейшая задача ученых на данном этапе развития науки и общества. Выбор материалов для строительства должен в первую очередь определяться широким комплексом характеристик личности, географией строительства, экологией и т.д. Должны быть различные материалы и дизайн архитектурной среды для строительства жилых и промышленных комплексов, детских и лечебных учреждений, домов социального назначения и др.

Проектирование и создание материалов для оптимизации среды «человек-материал-среда обитания» – сложнейшая задача, требует объединения ученых десятков направлений. Единственный путь решения этой проблемы – трансдисциплинарность- способ расширения научного мировоззрения, заключающийся в рассмотрении того или иного явления вне рамок какой-либо одной научной дисциплины.

** Исследование выполнено за счет средств Государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 годы, Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, в рамках Плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН, тема 7.5.1.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fediuk R.S., Yevdokimova Yu.G., Smoliakov A.K., Lesovik V.S. Use of geonics scientific positions for designing of building composites for protective (fortification) structures // IOP CONFERENCE SERIES-MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 221 (2017) 012001
2. Gridchin A.M., Lesovik V.S. Zum Problem der Forschung des System «Mensch-Stoff-Umwelt» // 12. Ibaus. Internationale Baustofftagung. – Weimar, 1994
3. Мелихов И.В., Третьяков Ю.Д. Подходы к мезокинетической теории поиска оптимального технологического маршрута превращения сырья в материал // Теоретические основы химической технологии. 2013. Т. 47. № 1. С. 42.
4. Шакарна М.Х. Композиционные вяжущие с использованием вулканических туфов Иордании // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №3. С. 38–43.
5. Гарькина И.А., Данилов А.М. Королев Е.В. Эволюция представлений о композиционных материалах с позиций смены парадигм // Строительные материалы. 2018. № 1–2. С. 60–62.
6. Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Глаголев Е.С. Конструкционные изделия на композиционных гипсовых вяжущих для индустриального строительства // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 10. С. 37-44.
7. Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В., Глаголев Е.С., Герасимов А.В. Анализ и перспективы развития монолитного малоэтажного строительства // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 9. С. 28-35.
8. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Милькина А.С. Особенности структуры бетонов нового поколения с применением техногенных материалов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2018. Т. 15. № 4 (62). С. 588-595.

УДК 66.084.8

**УЛЬТРАЗВУКОВАЯ КОАГУЛЯЦИЯ АЭРОЗОЛЕЙ
В ТОНКИХ РЕЗОНАНСНЫХ ПРОМЕЖУТКАХ
ULTRASOUND COAGULATION OF AEROSOLS IN THIN RESONANT GAPS**

**Андрей Викторович Шалунов, Владимир Николаевич Хмелев,
Виктор Александрович Нестеров, Роман Николаевич Голых,
Александр Сергеевич Петрищев
Andrey V. Shalunov, Vladimir N. Khmelev, Viktor A. Nesterov,
Roman N. Golykh, Alexander S. Petrishev**

*Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова», Россия, Бийск
Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, Russia, Biysk
(e-mail: shalunov@bti.secna.ru; vnh@bti.secna.ru; nva@bti.secna.ru; grn@bti.secna.ru)*

Аннотация: Представлена теоретическая модель процесса коагуляции дисперсных частиц в тонком резонансном промежутке, образованном соосно-расположенными плоским ультразвуковым излучателем и отражателем при наличии вихревых акустических течений.

Abstract: A theoretical model of the process of coagulation of dispersed particles in a thin resonant gap in the presence of vortex acoustic flows is presented. The resonant gap is formed by coaxially arranged flat emitter of ultrasonic vibrations and a reflector.

Ключевые слова: ультразвук, коагуляция, вихри, аэрозоль.

Keywords: ultrasound, coagulation, vortex, aerosol.

При теоретических исследованиях процесса очистки газов рассматривалась задача коагуляции аэрозоля в тонком слое между плоскими излучателем и отражателем, расположенными на расстоянии, не превышающем длину ультразвуковой волны в газе [1-4]. Излучатель совершает изгибные колебания, поэтому распределение колебаний плоской поверхности излучателя является неравномерным. Таким образом, обеспечивается градиент звукового давления и колебательной скорости в направлении, параллельном излучающей поверхности [5]. Наличие отражателя приводит к формированию градиента звукового давления в направлении, перпендикулярном излучающей поверхности. Это обуславливает появление постоянной вихревой силы, вызванной диссипацией энергии колебаний. Данная сила приводит к возникновению стационарных вихревых потоков в слое газовой фазы. Для выделения величин, которыми характеризуются вихревые потоки, было выполнено разложение уравнений Навье-Стокса по физическим процессам:

1. Колебания физических параметров среды, которые описываются уравнением Гельмгольца, получаемого после подстановки производной дивергенции скорости по времени из уравнения неразрывности в уравнение сохранения импульса:

$$(k + ik_{**})^2 \varphi + \Delta \varphi = 0, \quad (1)$$

$$\rho_a = \frac{1}{c^2} \operatorname{Re} \left(\left[\left(2\mu + \frac{\zeta}{3} \right) \Delta \varphi + i\omega \rho_0 \varphi \right] e^{-i\alpha t} \right), \quad (2)$$

$$\mathbf{v}_a = \operatorname{Re} \left(e^{-i\alpha t} \nabla \varphi \right), \quad (3)$$

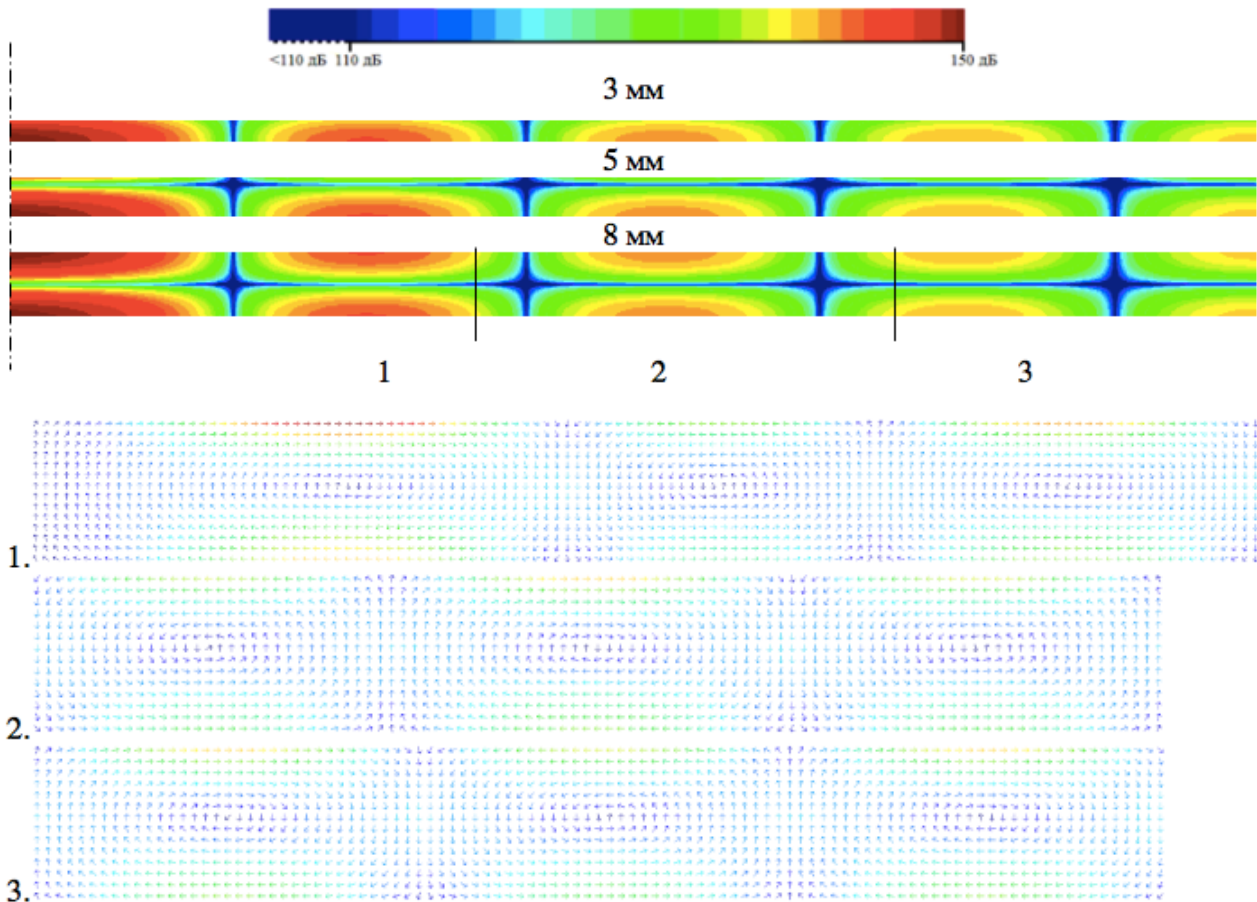
где k – волновое число, м^{-1} ; k_{**} – коэффициент поглощения, м^{-1} .

2. Акустические течения, вызванные действием постоянной силы из-за диссипации энергии, приводящей к стационарным движениям газа. Уравнения, описывающие акустические течения, представляют собой уравнения Навье-Стокса с эквивалентной объёмной силой \mathbf{F} , определяемой параметрами акустического поля ρ_a и \mathbf{v}_a . Эквивалентная объёмная сила определяется согласно выражению (4).

Поскольку акустические течения, как было отмечено в ранее проведённых исследованиях [6-8], имеют вихревой характер, было получено выражение для вихря силы \mathbf{F} в зависимости от распределения комплексных амплитуд потенциала скорости газа:

$$\text{rot } \mathbf{F} = -2kk_{**}(\nabla(\text{Im}\varphi) \times \nabla(\text{Re}\varphi)) + \frac{\mu\omega}{2c^2\rho_0}\Delta(\nabla(\text{Im}\varphi) \times \nabla(\text{Re}\varphi)) \quad (4)$$

Полученные распределения уровня звукового давления, представлены на рисунке 1 (диаметр излучателя – 420 мм, частота колебаний – 22 кГц). На основании распределений были построены векторные поля скоростей вихревых течений, приведённые на этом же рисунке



1, 2, 3 – номера кольцевых зон слоя (при максимальной толщине 8 мм), для которых построены поля скоростей

Рисунок 1 – Распределения звукового давления в слое и поля скоростей вихревых потоков при различных толщинах слоя (штрихпунктирная линия – ось симметрии излучателя, излучатель расположен сверху)

Как следует из представленных рисунков, поля скоростей меняют своё направление на противоположное (наблюдается закручивание векторного поля) в точках локального максимума звукового давления. В точках локального минимума звукового давления (где градиент звукового давления наибольшей) скорости направления не меняют, но при этом их абсолютное значение достигает максимума. Направление движущей силы совпадает с направлением угла при повороте воображаемого вектора от направления исходной составляющей колебательной скорости к направлению диссипирующей составляющей (согласно правилу буравчика). Отсюда следует, что в точках максимума звукового давления движущая сила направлена, в основном, перпендикулярно поверхности излучателя.

Метод расчёта движения и коагуляции частиц в тонком слое

Модель основана на подходе Лагранжа, который заключается в отслеживании поведения индивидуальных частиц, имеющих одинаковые размеры, массы, одинаковые скорости и близкие пространственные положения. Для ускорения расчёта целесообразно объединить их в группы. Каждая группа с номером i содержит несколько частиц со следующими параметрами: диаметр частиц d_i . Все частицы в i -й группе имеют одинаковый диаметр d_i ; вектор скорости частиц \mathbf{u}_i ; количество реальных частиц N_i ; вектор координат частиц \mathbf{r}_i . Все частицы, в i -й группе, имеют близкие пространственные положения, находящиеся в ε -окрестности точки с вектором координат \mathbf{r}_i . Понятие группы эквивалентно понятию виртуальной частицы. Движение виртуальной частицы описывается уравнением:

$$m_p \frac{d\mathbf{v}_p}{dt}(t) = 3\pi\mu d \left(\mathbf{v}_f \left(\mathbf{r}_{p0} + \int_0^t \mathbf{v}_p(t) dt, t \right) - \mathbf{v}_p \right) \quad (5)$$

где \mathbf{v}_p – скорость движения частицы, м/с; \mathbf{v}_f – скорость движения газа (включающая стационарную составляющую \mathbf{V}_{vort} , обусловленную вихревыми течениями, и колебательную составляющую \mathbf{V}_{osc} , обусловленную переменным звуковым давлением $\mathbf{v}_f = \mathbf{V}_{osc} + \mathbf{V}_{vort}$), м/с; \mathbf{r}_{p0} – начальное пространственное положение виртуальной частицы, м.

В качестве характеристик аэрозоля в начальный момент времени задаются: массовая концентрация частиц в объёме ρ (кг/м³); начальный диаметр частиц d_0 (м); плотность вещества частиц ρ_p (кг/м³). Таким образом, расчёт эволюции концентрации и дисперсного состава аэрозоля состоит из следующих этапов: 1. Генерация равномерно распределённых по объёму виртуальных частиц. 2. Цикл расчёта смещений частиц на следующем временном шаге $t + \Delta t$. 3. Модификация характеристик существующих и генерация новых виртуальных частиц за счёт коагуляции.

Вероятностная модель столкновения и слипания частиц

Согласно модели, область движения расчетной частицы представляется в виде цилиндра с высотой, равной расстоянию, которое проходит расчетная частица за один шаг по времени [8-9]. Столкновение расчетной и виртуальной частиц происходит, если центр виртуальной частицы окажется в цилиндрической области диаметром $d_{pr} + d_{pf}$. Для определения результата взаимодействия расчетной и виртуальной частиц генерируется равномерная случайная величина ψ в интервале [0;1] и сравнивается с вероятностью столкновения, которая рассчитывается по соотношению [15,16]:

$$P_{col}(\Delta t) = f_{col} \cdot \Delta t = \frac{\pi}{4} (d_{pr} + d_{pf})^2 \cdot |\bar{v}_{prel}| \cdot n_p \cdot \Delta t, \quad (6)$$

где f_{col} – частота столкновения расчетной и виртуальной частиц, с⁻¹; Δt – шаг по времени, с; $\sigma = \frac{\pi(d_{pr} + d_{pf})^2}{4}$ – эффективное сечение столкновения, м²; d_{pr} , d_{pf} – диаметр расчетной и виртуальной частиц соответственно, м; $|\bar{v}_{prel}| = |\bar{v}_{pr} - \bar{v}_{pf}|$ – относительная скорость движения частиц, м/с; $n_{pr} = \frac{\Delta N_{pr}}{\Delta V_{cell}}$ – счетная концентрация всех частиц, находящихся в ячейке расчетной области, м⁻³; ΔN_{pr} – количество частиц в расчетной ячейке; ΔV_{cell} – объем ячейки сетки непрерывной фазы, м³.

В результате столкновения двух частиц образуется новая частица с диаметром:

$$d_{pr} = \sqrt[3]{d_{pr}^3 + d_{pf}^3}. \quad (7)$$

Если исходное количество реальных частиц в каждой группе равно N_p , то число частиц, находящихся в группе, после столкновения пересчитывается с целью поддержания общей массы частиц в группе:

$$N_p = N_p \frac{d_{pr}^3}{d_{pr}^3 + d_{pf}^3}, \quad (8)$$

Дальнейшая траектория движения новой виртуальной частицы рассчитывается с использованием дифференциального уравнения (5). На основе предложенной модели рассчитаны распределения концентраций частиц в различные моменты времени (начальная массовая концентрация 100 г/м^3 , рисунок 2). Как следует из представленных распределений, стационарные акустические течения способствуют локальным повышениям концентрации аэрозольных частиц, что приведёт к увеличению эффективности коагуляции. Так, согласно результатам расчётов установлено, что за 6 секунд общая масса аэрозольных частиц в слое уменьшается более чем в 3 раза.

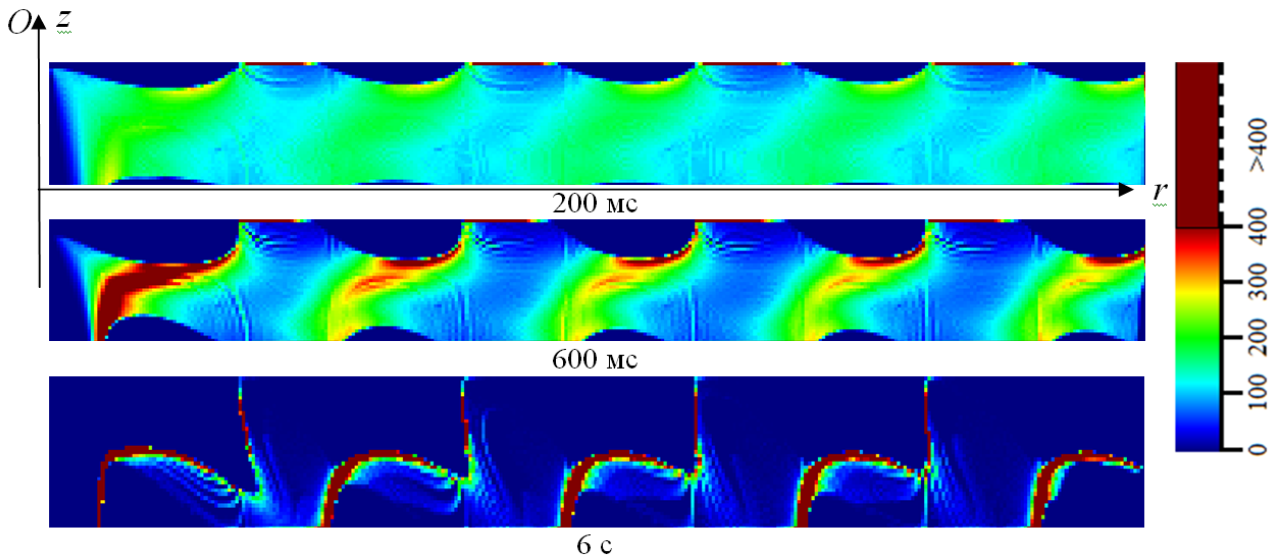


Рисунок 2 – Распределение массовых концентраций (г/м^3) аэрозольных частиц в различные моменты времени (толщина слоя 20 мм)

Выводы

В ходе выполненной работы разработана математическая модель процесса коагуляции дисперсных частиц в тонком резонансном промежутке. Предложен и обоснован способ повышения эффективности процесса коагуляции путем локального увеличения концентрации взвешенных дисперсных частиц вблизи поверхности отражателя за счет вовлечения их в вихревое движение. Показано, что из-за наличия поглощения энергии ультразвуковых колебаний в газодисперсной среде создаются условия для возникновения экартовских течений. Причем, за счет неравномерности амплитуды колебаний отдельных участков поверхности диска и излучении ими колебаний в противоположных фазах, формируются условия для создания замкнутых закрученных потоков.

Разработана математическая модель (на основе уравнения Гельмгольца) позволяющая рассчитывать акустическое поле, формируемое в газовом промежутке между изгибно-колеблющимся дисковым излучателем и отражателем. Установлено, что в диапазоне уровней звукового давления, не превышающем 160 дБ, характерная ширина каждого вихревого потока совпадает с половиной длины волны изгибных колебаний дискового излучателя, а характерная высота вихря соответствует расстоянию между излучателем и отражателем.

Разработана вероятностная модель расчета движения и столкновения частиц в акустическом поле с учетом вихревого характера движения среды, основанная на подходе Лагранжа и численный метод анализа модели, позволяющий на порядок сократить время расчёта для случая осесимметричного распределения УЗ колебаний дискового излучателя.

Предварительно проведенные расчеты показали, что формирование акустических вихрей обеспечивает повышение концентрации (более 4-х раз) дисперсных частиц в непосредственной близости от поверхности отражателя, что способствует увеличению

вероятности их столкновения. Установлено, что для газового промежутка 20 мм за 6 секунд суммарная масса аэрозольных частиц уменьшается более чем в 3 раза.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект №19-19-00121).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khmelev V.N., Shalunov A.V., Golykh R.N., Dorovskikh R.S., Nesterov V.A., Bobrova G.A. Study of the influence of secondary modes of vibrations on the uniformity of the distribution of working ring disk of ultrasonic disk radiators // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM'2017: Conference Proceedings. Novosibirsk: NSTU, 2017. pp. 290-293.

2. Khmelev V.N., Galakhov A.N., Shalunov A.V., Nesterov V.A., Golykh R.N. Development of the rectangular ultrasonic radiator of the stair-step form // International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2014: Conference Proceedings. Novosibirsk: NSTU, 2014. pp. 187-193.

3. Khmelev V.N., Nesterov V. A., Shalunov A.V. Radiators for Forming of High-Intensive Ultrasonic Vibrations In Gaseous Media // 19th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. EDM'2018: Conference Proceedings. Novosibirsk: NSTU, 2018. pp. 275–280.

4. Khmelev V.N., Nesterov V. A., Shalunov A.V., Golykh R. N., Nesterov A. A. Ultrasonic Disk Radiators at High Temperatures // 19th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. EDM'2018: Conference Proceedings. Novosibirsk: NSTU, 2018. pp. 265–269.

5. Бабаков И.М. Теория колебаний. 4-е изд., испр. М.: Дрофа, 2004. 591 с.

6. Агранат, Б.А. Основы физики и техники ультразвука / Б.А. Агранат [и др.]. М.: Высшая школа, 1987. 352 с.

7. Розенберг Л.Д. Физические основы ультразвуковой технологии» / Под ред. Л.Д. Розенберга. М.: Наука, 1969. - 689 с.

8. Руденко О.В. Солюян С.И. Теоретические основы нелинейной акустики. М.: Наука, 1975. 287 с.

9. Sommerfeld M., Blei S. A stochastic droplet collision model with consideration of impact efficiency // ILASS-Europe: Conference Proceedings. Zaragoza, 2002. 6 P.

10. Sommerfeld, M. Validation of a stochastic Lagrangian modelling approach for inter-particle collisions in homogeneous isotropic turbulence // International Journal of Multiphase Flow. 2001. Vol. 27. p. 1829-1858.

УДК 664:542.69:621.867.4

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АППАРАТА ДЛЯ ВЛАГОТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА CALCULATION AND DESIGN OF THE APPARATUS FOR HEAT AND HUMIDITY TREATMENT THE GRAIN

Александр Николаевич Остриков, Алексей Ильич Александров,
Alexander N. Ostrikov, Alexey I. Alexandrov

Воронежский государственный университет инженерных технологий, Россия, Воронеж
Voronezh state University of engineering technologies, Russia, Voronezh
(e-mail: oan@vsuet.ru)

Аннотация: Приведены результаты экспериментальных исследований по увлажнению и пропариванию зерна, используемого при производстве комбикормов. Изложен алгоритм методики расчета аппарата для влаготепловой обработки зерна и описание особенностей его конструкции.

Abstract: The results of experimental studies on moisture and steaming of grain used in the production of animal feed. The algorithm of the method of calculation of the device for moisture-heat treatment of grain and the description of features of its design is stated.

Ключевые слова: увлажнение, пропаривание зерно, методика расчета, проектирование, аппарат.

Keywords: moisturizing, steaming the grain, method of calculation, design, device.

Влаготепловая обработка зерна (увлажнение с последующим отволаживанием, пропаривание является важной операцией перед флокированием, экструдированием и микронизацией) при производстве комбикормов, которая во многом определяет питательную ценность получаемых комбикормов [1].

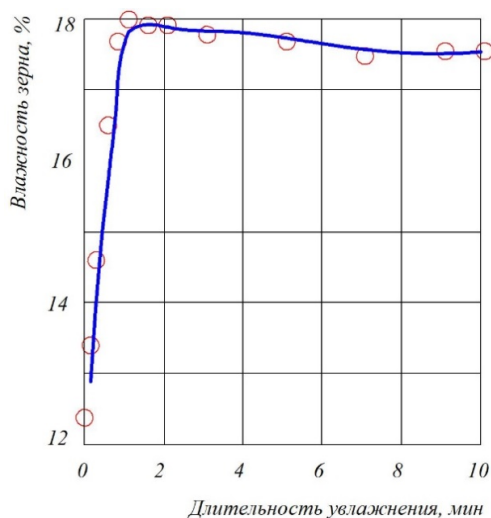


Рисунок 1 – Кинетика увлажнения зерна ячменя

Исследование процесса увлажнения зерна водой. Исследования процесса увлажнения зерна пшеницы, ячменя и гороха проводили при изменении температуры воды от 20 до 100 °С и длительности обработки – до 10 минут. В результате исследований установлены кинетические закономерности процесса увлажнения (рисунок 1) [1].

На процесс увлажнения оказывает влияние температура воды. Наиболее интенсивно происходит процесс увлажнения водой, нагретой до температуры 40-60 °С. Установлено, что в первый момент увеличения влажности зерна с 11,4 до 17,9 %, степень клейстеризации крахмала увеличивается с 12 до 16 %. В дальнейшем степень клейстеризации увеличивается незначительно, что связано с увеличением набухаемости зерна при температуре 60 °С.

Исследование процесса пропаривания зерна.

Анализ характера изменения влажности зерна ячменя при обработке его в пропаривателе паром давлением 0,5 МПа при различной длительности пропаривания показывает существенное влияние расхода пара на конечную влажность зерна.

Установлено также, что степень клейстеризации крахмала увеличивается с возрастанием длительности пропаривания и практически не зависит от расхода пара (таблица 1). Установлена зависимость содержания декстринов в зерне при обработке его паром атмосферного давления в течение 60 минут (рисунок 2) [2].

Таблица 1 – Влияние режима пропаривания на степень клейстеризации крахмала ячменя

| Длительность пропаривания, мин | Расход пара, кг/ч (кг/кг·мин) | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | 10 (0,110) | 20 (0,220) | 30 (0,330) | 40 (0,440) | 50 (0,550) |
| Степень клейстеризации, % | | | | | |
| 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 5 | 5 | 7 | 6 | 5 | 5 |
| 7 | 8 | 8 | 6 | 8 | 7 |
| 10 | 13 | 12 | 12 | 12 | 13 |
| 20 | 23 | 25 | 25 | 23 | 24 |
| 30 | 38 | 38 | 36 | 40 | 40 |
| 60 | 83 | 80 | 85 | 82 | 86 |
| 70 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

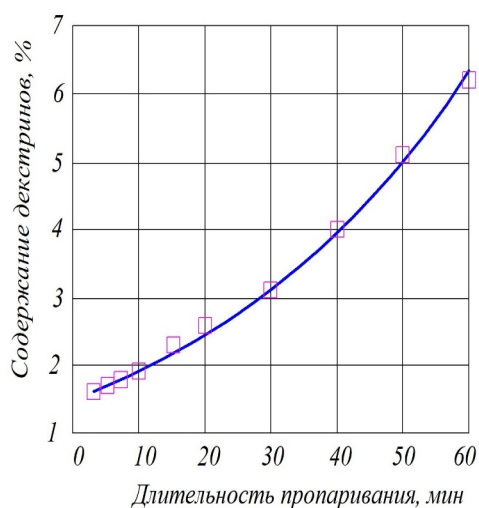


Рисунок 2 – Изменение количества декстринов в процессе пропаривания зерна ячменя

Выявлено, что в первые 10 минут пропаривания содержание декстринов увеличивается примерно на 0,5-1,0 % по сравнению с исходным образцом, через 30 минут – на 1,5-2,0 %, а после 60 минут пропаривания – на 4,0-4,5 %.

Полученные результаты позволяют отметить, что степень клейстеризации крахмала возрастает с увеличением длительности пропаривания и в исследованных пределах практически не зависит от часового расхода пара. При длительности пропаривания от 3 до 7 мин степень клейстеризации увеличивается незначительно и составляет всего 3-8 %. Это говорит о том, что только в этом количестве крахмальных зерен от общей массы внутреннее давление достигает величины, способной разорвать оболочку. После 10-минутной обработки степень клейстеризации достигает 12-13 %, через 30 мин 36-40 % и стопроцентная клейстеризация наблюдается у образцов, пропаренных в течение 70 мин. [3].

Установлено, что уже через одну минуту обеспечиваются условия, достаточные для процесса клейстеризации: температура зерна достигает 60 °С, а влажность – 20 %. После трех минут обработки температура зерна составляет 95-97 °С, влажность – 24-30 %, при этом имеет место частичная клейстеризация – около 3-4 %, т. е. произошло набухание крахмальных зерен и разрыв их оболочек. На протяжении дальнейшего процесса пропаривания средняя влажность зерна медленно повышается до 40 %, а температура его поддерживается в пределах 97-98 °С. Выполненные исследования позволили не только определить рациональные режимы влаготепловой обработки исследуемых видов зерновых, но и легли в основу разработанной методики инженерного расчета аппарата для влаготепловой обработки, состоящего из трех элементов: шнекового питателя, смесителя-увлажнителя и кондиционера-выдерживателя.

Расчет смесителя-увлажнителя. Скорость движения зерна по корпусу смесителя определяется по формуле:

$$v = \frac{bn \sin 2\alpha \cdot (m-1)}{120} (\cos \alpha - \varphi \sin \alpha), \quad (1)$$

где v – скорость движения зерна по корпусу смесителя, м/с; b – ширина лопатки, м; n – частота вращения вала, мин⁻¹; α – угол наклона лопаток, град.; m – количество лопастей в одном шаге, шт.; φ – коэффициент трения.

Диаметр камеры смесителя определяется из выражения:

$$D = \sqrt{\frac{1,27 \cdot Q}{v \cdot \rho \cdot K \cdot \eta \cdot \psi}}, \quad (2)$$

где D – диаметр камеры смесителя, м; Q – производительность, кг/с; ρ – насыпная плотность ячменя смеси, кг/м³; K – коэффициент влияния формы лопаток; η – коэффициент влияния величины зазора; ψ – коэффициент заполнения камеры смесителя; v – осевая скорость зерна, м/с.

Оптимальное расстояние между лопастями определяется по формуле:

$$l = \frac{b \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}{\cos(\alpha + \beta)}, \quad (3)$$

где l – оптимальное расстояние между лопастями, м; β – угол трения продукта о лопасть.

Расчет кондиционера-пропаривателя. Шаг шнека H , м, и диаметр вала шнека d , м

$$H = K \cdot D; \quad d = K_1 \cdot D, \quad (4)$$

где K, K_1 – эмпирические коэффициенты.

Угол подъема винтовой линии шнека на периферии, α_D , рад

$$\alpha_D = \arctg [H / (\pi D)]. \quad (5)$$

Угол подъема винтовой линии шнека у вала α_d , рад

$$\alpha_d = \arctg [H / (\pi d)]. \quad (6)$$

С достаточной для инженерных расчетов точностью принимаем среднеарифметический угол подъема винтовой линии α_{cp} , рад

$$\alpha_{cp} = 0,5(\alpha_D + \alpha_d). \quad (7)$$

Коэффициент отставания транспортируемого материала K_0 .

$$K_0 = 1 - [\cos^2 \alpha_{cp} - 0,5f \sin(2\alpha_{cp})]. \quad (8)$$

Предельный диаметр вала шнека $d_{пр}$, м

$$d_{пр} = (H/\pi) \operatorname{tg} \varphi, \quad (9)$$

где $\operatorname{tg} \varphi = f$ – коэффициент трения, $f = 0,6$ (φ – угол трения).

Диаметр вала шнека d всегда принимается больше $d_{пр}$. Таким образом, условие $d \geq d_{пр}$ выполняется.

Мощность, затрачиваемая на привод шнекового кондиционера N , кВт

$$N = 10^{-3} M_{кр} \omega / \eta, \quad (10)$$

где η – КПД привода.

Определение дисперсных характеристик при распыливании пара. Проведенный анализ показал, что применительно к исследуемому процессу наилучшее равномерное распыливание капель воды и пара наблюдалось при использовании струйных форсунок с диаметром 0,8...1,0 мм. Для определения дисперсных характеристик распыливаемого пара и воды было получено критериальное уравнение

$$\frac{d_{32}}{d_c} = 3,2 \operatorname{We}^{-0,6} \operatorname{Lp}^{-0,005} \left(\frac{D}{L} \right)^2, \quad (11)$$

где d_{32} – средний объемно-поверхностный диаметр пара, м; d_c – диаметр соплового канала конически расходящейся струйной форсунки, м; $\operatorname{We} = (w_n^2 l \rho_n) / \sigma$ – критерий Вебера; $\operatorname{Lp} = (l \rho_n \sigma) / \mu_n^2$ – критерий Лапласа; w_n – скорость пара на выходе из форсунки, м/с; σ – поверхностное натяжение пара, Н/м; ρ_n – плотность пара, кг/м³; μ_n – динамическая вязкость пара, Па·с; l – длина соплового канала форсунки, м; D – диаметр факела распыла пара (за диаметр факела принят диаметр сечения D_{95} , внутри которого протекает не менее 95 % всего пара; L – дальность факела распыла пара, м.

Тепловой расчет кондиционера-пропаривателя. Уравнение теплового баланса.

$$Q_{св}^H + Q_B^H + Q_{ув} + Q_{оп} = Q_{св}^K + Q_B^K + Q_{пот}, \quad (12)$$

где $Q_{св}^H = G_{св} c_3 t_H$ – теплота, вносимая сухим веществом зерна, кДж/ч; $Q_{св}^K = G_{св} c_3 t_K$ – теплота, уносимая сухим веществом зерна, кДж/ч; $G_{св}$ – производительность аппарата в расчете на сухое вещество зерна, кг/ч; c_3 – теплоемкость зерна ячменя, кДж/(кг·К), t_H и t_K – соответственно, температура поступающего и выходящего из аппарата зерна, °С; $Q_B^H = G_B^H c_B t_H$ – теплота, вносимая влагой зерна, кДж/ч; $Q_{ув} = G_{ув} c_B t_{окр}$ – теплота, вносимая влагой при увлажнении зерна ($t_{окр}$ – температура окружающей среды) (если кроме пара в кондиционер вносится вода), кДж/ч; $Q_{оп} = D_n [r_n + c_n (t_s - t_K)]$ – теплота, вносимая острым паром при увлажнении зерна (D_n – расход острого пара на увлажнение зерна, кг/ч; r_n – скрытая теплота парообразования водяного пара; c_n – теплоемкость насыщенного водяного пара; t_K –

температура насыщенного пара при рабочем давлении пара, кДж/ч; $Q_B^K = (G_{yB}^K + D_{оп} + G_{yB})c_B t_K$ – теплота, уносимая влагой шрота, кДж/ч; G_B^H и G_B^K – соответственно, количество влаги в поступающем и выходящем из кондиционера зерне $G_B^K = G_B^H - G_B$, кг/ч; c_B – теплоемкость влаги, кДж/(кг·К); r_B – соответственно, скрытая теплота парообразования влаги, кДж/кг; c_B^H – теплоемкость паров влаги, кДж/(кг·К); $Q_{пот}$ – тепловые потери (принимаются 3-5 % от общей теплоты), кДж/ч.

Расход пара D_n (кг/ч)

$$D_n = Q/i_n, \quad (13)$$

где i_n – теплосодержание острого пара, кДж/кг.

В результате был спроектирован аппарат для влаготепловой обработки (рисунок 3).

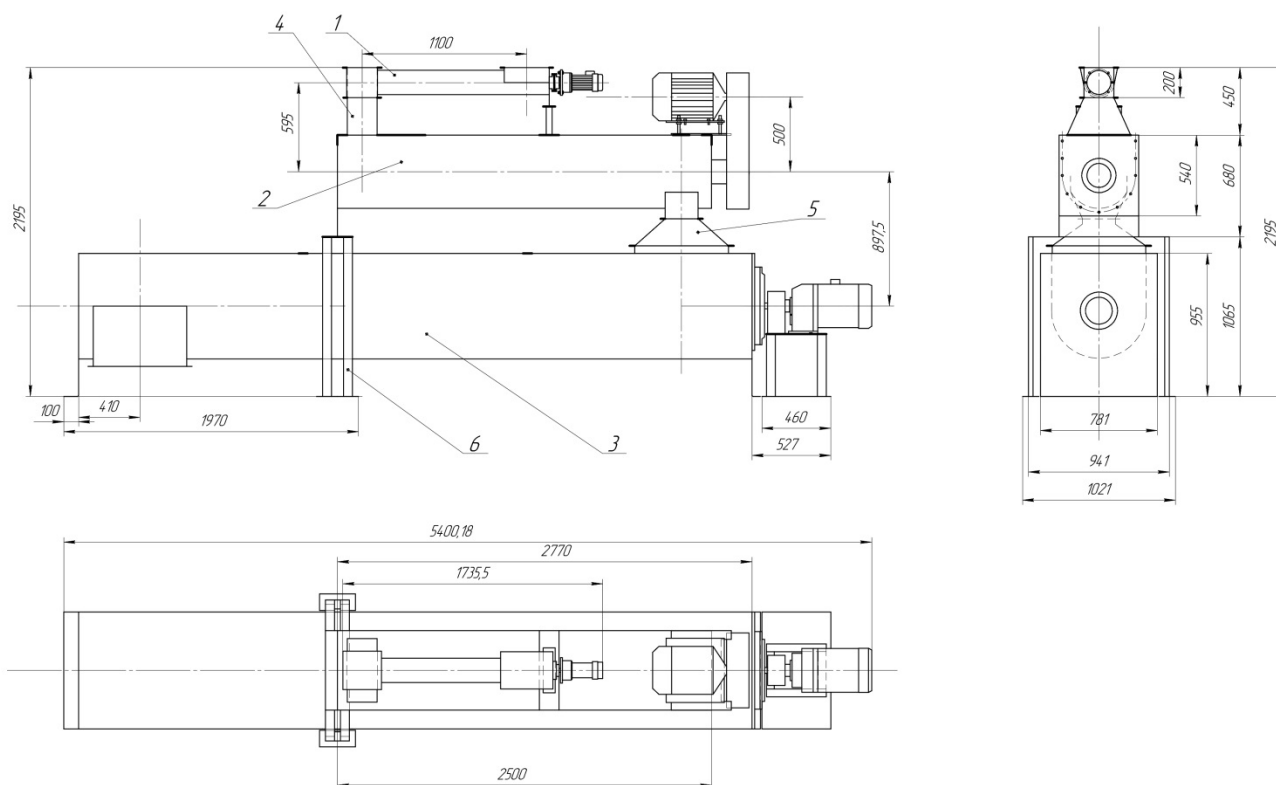


Рисунок 3 – Аппарат для влаготепловой обработки

Выводы

Определены основные кинетические закономерности процесса увлажнения и пропаривания зерен ячменя, пшеницы и гороха, обоснован выбор рациональных режимов процесса их влаготепловой обработки. Разработана методика инженерного расчета, которая легла в основу создания новой конструкции аппарата для влаготепловой обработки. Выполненный конструктивный расчет включал расчет смесителя-увлажнителя, расчет струйной форсунки и определение дисперсных характеристик при распыливании пара, а также тепловой расчет кондиционера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев, В. А. Энерго- и ресурсосберегающие технологии комбикормов / В. А. Афанасьев; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж : ВГУИТ, 2017. – 473 с.
2. Афанасьев, В.А. Приоритетные методы тепловой обработки зерновых компонентов в технологии комбикормов / В. А. Афанасьев, А. Н. Остриков. – Воронеж : 2015. – 336 с.
3. Афанасьев В.А., Оценка эффективности технологии получения зерновых хлопьев для производства комбикормов для молодняка крупного рогатого скота / В. А. Афанасьев, А. Н. Остриков, В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, В. В. Мануйлов // Кормопроизводство. – 2017. – № 6. – С. 33-38.

УДК 677.499

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ НАНОВОЛОКОН COMPARISON OF VARIOUS METHODS OF NANOFIBERS ELECTROSPINNING

Иван Юрьевич Филатов*, **Елена Сергеевна Бокова****, **Мария Анатольевна Смутьская***,
Иван Александрович Капустин*
Ivan Yu. Filatov*, **Elena S. Bokova****, **Maria A. Smulskaya***, **Ivan A. Kapustin***

**ООО «Научно-производственный центр «Электроспиннинг», Россия, Москва
LLC "Scientific and Production Center" Electrospinning", Russia, Moscow
(e-mail: fiu@electrospinning.ru)*

***Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва*

***The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: esbokova@yandex.ru)*

Аннотация: Рассмотрены различные промышленные методы процесса электроформования. Приведены экспериментальные данные результатов электроформования из растворов хлорированного поливинилхлорида, полиамида-6/66 и фторопласта Ф-42, полученные различными методами.

Abstract: Various industrial methods of electrospinning are considered. Experimental data of the results of electrospinning from solutions of chlorinated polyvinyl chloride, polyamide-6/66 and fluoroplastic F-42, obtained by various methods are presented.

Ключевые слова: электроформование, нановолокна, наноспайдер, электроаэродинамический метод, электроцентробежный метод.

Keywords: electrospinning, electrospun, nanofibers, nanospider, blowing-assisted electrospinning, electro-blowing, centrifugal electrospinning.

В последние годы продолжается тенденция усиления интереса к процессу электроформования, о чем свидетельствует рост публикаций и патентов по теме. Это связано как с возможностью переработки в волокно практических любых полимеров, в т.ч. и биополимеров, так и с тем, что электроформование позволяет получать нановолокна с диаметром менее 300 нм, которые традиционными способами получить не удастся. Нановолокна за счет развитой поверхности и малого размера пор в материале способны придавать повышенные функциональные свойства изделиям на их основе. Значительная доля промышленного применения таких материалов – фильтрация газов и жидкостей. Для такого применения принципиальным является качество структуры волокнистого материала при достижении высокой производительности процесса.

Существует несколько реализованных промышленно методов электроформования, которые условно можно разделить на методы с использованием дозирующих капилляров (электрокапиллярный, электроаэродинамический) и методы со свободной поверхности (электроцентробежный, наноспайдер) [1-7]. В электрокапиллярном методе формирование струи осуществляется на поверхности капилляра и количество струй определяется количеством таких капилляров [1, 3]. В методе наноспайдер (Nanospider™) количество струй на поверхности струны или цилиндра определяется электростатическим полем. Раствор наносится посредством обмакивания или намазывания [8]. Вытяжка волокна в обоих методах происходит только за счет электростатических сил. В электроаэродинамическом (blowing-assisted electrospinning, electro-blowing) [9] и электроцентробежном (centrifugal electrospinning) [10] методах формирование осуществляется при дополнительном участии высокоскоростного потока воздуха или центробежной силы, действующей на раствор. За счет этого происходит дробление первичной струи на поверхности капилляра или диска.

В России для производства микроволокнистых материалов ФП (Фильтры Петрянова®), самый известный из которых ФПП-15-1,5, использовались электрокапиллярный, электроаэродинамический и электроцентробежный методы, тогда как для получения субмикронных волокон использовался исключительно электрокапиллярный метод (аналитические материалы типа ЛФС-2) [1].

Как отмечается во многих публикациях, где рассматриваются различные методы электроформования, электроаэродинамический и электроцентробежный методы выделяются как наиболее производительные [4-7]. Однако в литературе отсутствует сведения об экспериментальном параллельном сравнении всех вышеперечисленных методов. В литературных обзорах и монографиях, посвященных процессу, приводятся только выдержки из статей, с указанием результатов авторов по полученным диаметрам волокон и производительности [5, 6]. Однако, практически все описанные эксперименты проводились с различными системами полимер-растворитель при различных концентрациях. Таким образом, актуально проведение сравнения различных методов электроформования одних и тех же систем полимер-растворитель, особенно получения нановолокон, мало исследованного для некоторых методов.

Важной характеристикой волокнистого материала для фильтрации является его бездефектность. Дефекты в процессе электроформования можно разделить на дефекты волокон и дефекты материала. Дефектами волокон (рисунок 1а) являются утолщения на них различной формы (веретено, шар). По мере перехода процесса электроформования в процесс электрораспыления размер утолщений увеличивается, достигая значений более чем 20 диаметров волокна. Это происходит при формовании из растворов с концентрацией ниже точки кроссовера, низкой электропроводности или очень высокой подачи раствора. В дальнейшем такие утолщения переходят в капли различного размера, которые, достигая поверхности волокнистого материала, образуют дефекты двух типов: пленки и отверстия (рисунок 1б). Пленки образуются из капель растворов, содержащих летучие растворители (ацетон, этилацетат и др.), каплей малого размера или при обогреве межэлектродного пространства, что способствует удалению большей части растворителя из них в полете. Отверстия в слое волокон возникают из-за попадания каплей, не успевших достаточно затвердеть. Также дефекты в виде капель могут образовываться из-за неоднородности полимерного раствора и наличия в нем гелей, частиц и пр. Поскольку во всех экспериментах использовались формовочные растворы концентрации выше точки кроссовера и с оптимальной электропроводностью, то влияние метода электроформования на дефектность определялось расходом раствора на единичную струю.

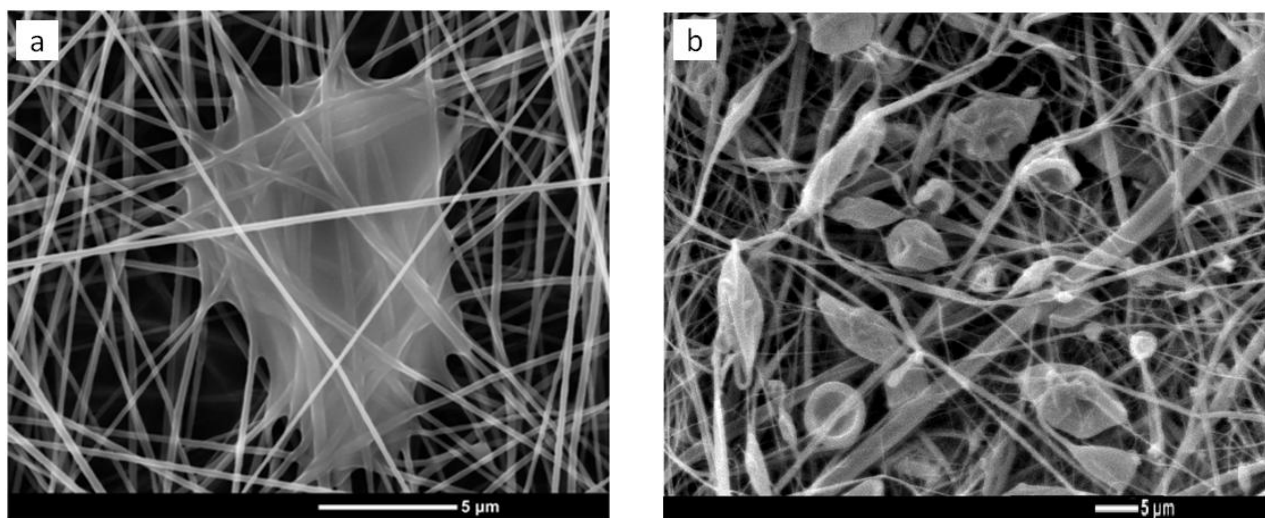


Рисунок 1 – Дефекты нановолокнистых материалов:
а – утолщения на волокнах в виде веретен; **б** – пленка из капли

В качестве объектов исследования были выбраны широко применяемые для получения нановолокон полимеры: хлорированный поливинилхлорид (с добавкой полиметилметакрилата), полиамид-6/66 и фторопласт Ф-42. Различными методами электроформования были получены нановолокнистые материалы из одних и тех же растворов на основе этих полимеров. Сравнение проводилось по таким параметрам как: диаметр волокон, наличие дефектов и производительность процесса.

Удобным методом сравнения различных волокнистых материалов является вычисление для них среднего гидродинамического диаметра d_r из формулы гидродинамического сопротивления Фукса-Стечкиной [3]:

$$\Delta P = \frac{4\mu \cdot M \cdot v}{\rho \cdot r^2 [-0,5 \ln \beta - 0,48 + 0,64\beta + 1,43(1 - \beta) \cdot Kn]}$$

где: ΔP – сопротивление потоку воздуха, Па; μ – вязкость воздуха; Па·с, M – поверхностная плотность, г/м²; v – скорость воздуха, м/с; r – гидродинамический радиус волокна, м; ρ – плотность полимера волокон, г/см³; β – плотность упаковки волокон в материале; $Kn = \lambda/r$ – число Кнудсена, где λ – длина свободного пробега молекул воздуха, м.

Гидродинамический диаметр практически всегда больше среднего оптического, измеренного с помощью оптической или электронной микроскопии, что вызвано вкладом дефектов в значение поверхностной плотности. Значения среднего оптического и гидродинамического диаметров могут совпадать только для бездефектных волокнистых материалов. Поэтому рост гидродинамического диаметра хорошо отражает увеличение числа дефектов, например, при росте объемного расхода раствора. Параллельно необходимо контролировать средний оптический диаметр волокон.

Для дозирования формовочных растворов использовался шприцевой дозатор SK-500I с минимальным значением объемного расхода $Q = 0,1 - 0,2$ мл/ч. Капилляром служила инсулиновая игла калибром 29G. Центробежный элемент представлял собой стальной диск с вогнутыми краями, диаметром 100 мм, скорость вращения около 3000 об./мин. Расход воздуха в аэродинамической форсунке составлял около 30 л/мин при давлении 0,1 МПа. В наноспайдере серии NS-LAB-500 использовалась ванна с 4-струнным коллектором длиной 15 см. Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты электроформования различными методами.

| Состав формовочного раствора | Капилляр | | Наноспайдер | | Аэродинамический | | Центробежный | |
|--|----------|---------------------|-------------|---------------------|------------------|---------------------|--------------|---------------------|
| | Q, мл/ч | d _г , нм | Q, мл/ч | d _г , нм | Q, мл/ч | d _г , нм | Q, мл/ч | d _г , нм |
| 10% раствор ПА-6/66 в смеси этиловый спирт/пропионовая к-та/уксусная к-та/вода 25:20:15:40 масс. | 0,2 | 230 | ~ 12,0 | 160 | 3,0 | 360 | – | |
| | 0,5 | 250 | | | 5,0 | 500 | | |
| | 1,0 | 370 | | | 7,0 | 470 | | |
| 6% раствор Ф-42 в смеси диметилформамид/толуол 80:20 масс. | 0,7 | 120 | ~ 10,0 | 100 | 7,0 | 140 | 50,0 | 160 |
| | 1,2 | 150 | | | 10,0 | 170 | | |
| | 1,5 | 210 | | | 15,0 | 210 | | |
| 6% раствор Ф-42 в диметилформамиде | 0,1 | 90 | ~ 10,0 | 80 | – | – | – | |
| | 0,3 | 110 | | | | | | |
| | 0,6 | 120 | | | | | | |
| 6% раствор Ф-42 в смеси диметилформамид/этилацетат 50:50 масс. | 0,3 | 230 | ~ 15,0 | 240 | – | – | – | |
| | 0,7 | 300 | | | | | | |
| | 3,0 | 420 | | | | | | |
| 14 % раствор ХПВХ + 30 % добавка ПММА в смеси диметилформамид/бутилацетат БА/ДМФА 70:30 масс. | 0,2 | 150 | ~ 12,0 | 130 | 5,0 | 250 | 80,0 | 510 |
| | 0,5 | 180 | | | 7,0 | 300 | | |
| | 1,0 | 240 | | | 10,0 | 450 | | |

Отсутствие дефектов наблюдалось во всех случаях при минимальных расходах с капилляра, однако при этом наименьший диаметр волокон получался с помощью наноспайдера. Объемный расход раствора в наноспайдере не регулируется, а зависит от приложенного напряжения и прочих факторов и поэтому измерялся косвенно по массе волокон, осажденных на подложку. Плотность струй на единицу длины электрода наноспайдера составляет приблизительно 5 – 10 шт./см. Таким образом, средний расход одной струи составляет порядка 0,05 – 0,1 мл/ч, что ниже минимальных значений расхода на капилляре. Поэтому и диаметр волокон для наноспайдера ниже или приблизительно равен диаметру при минимальном расходе с капилляра. С ростом расхода на капилляре происходит увеличение диаметра волокон до некоторого значения (1,5 – 3) раза от минимального, после которого избыточное количество раствора начинает формировать дефекты на волокне, что наблюдается по микрофотографиям и по росту гидродинамического диаметра.

Волокна, полученные электроаэродинамическим методом во всех случаях даже при минимальных расходах, содержали значительное количество дефектов. Это, по-видимому, связано с широким распределением значений расхода единичных струй, образованных из первичной струи, раздробленной потоком воздуха. Поэтому наблюдаются волокна диаметром менее 100 нм, волокна диаметром более 300 нм и дефекты. Результаты электроцентробежного метода аналогичны. При этом можно отметить, что скоростной сопутствующий поток воздуха высушивает дефекты в полете. Рост расхода выше оптимальных значений приводит к появлению капель.

Выводы

Как показывают результаты экспериментов, для получения нановолокон могут быть использованы все методы электроформования. Однако, высокопроизводительные электроаэродинамический и электроцентробежный методы дают значительное количество дефектов в виде капель или утолщений. При отсутствии сквозных пробитий каплями и достаточном высыхании при осаждении, такого рода дефектами можно пренебрегать,

например, для создания материалов из смесей микро- и нановолокон для воздушной фильтрации. У этих методов значительное преимущество в производительности и плотности струй в формовочном пространстве, при этом формовочные элементы компактны и могут легко приводиться в движение для равномерного нанесения волокон.

Электрокапиллярный метод как наиболее управляемый по расходу формовочного раствора позволяет получать наименее дефектные нановолокна. Однако минимизация расхода на капилляр для получения меньших по диаметру волокон приводит к значительному усложнению конструкции и росту числа капилляров. Метод наноспайдер за счет сил поля в зависимости от вязкости и электропроводности раствора позволяет достигать самых минимальных расходов в расчете на единичную струю, расстояние между струями саморегулируется. Такие материалы могут быть успешно применены в качестве жидкостных фильтров, т.к. обладают минимальной порой и бездефектной структурой. Однако, формовочный элемент в виде ванны со струнным коллектором или струны и каретки достаточно громоздкий и лишен возможности его движения. Для повышения равномерности требуется последовательная установка большого числа таких элементов.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что под каждую конкретную задачу по дальнейшему применению нановолокон, требуемой производительности установки и выбранной системы полимер-растворитель может быть выбран оптимальный метод электроформования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филатов Ю. Н. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс) / Под ред. В. Н. Кириченко. – М.: Нефть и газ, 1997. – 298 с.
2. Козлов В.А., Якушкин М.С, Филатов Ю.Н. Особенности аппаратного оформления процесса электроформования полимерных нано- и микроволокнистых материалов. Вестник МИТХТ. 2011. – Т. 6, № 3. – С. 28-33.
3. Дружинин Э. А. Производство и свойства фильтрующих материалов Петрянова из ультратонких полимерных волокон. – М. : ИздАТ, 2007. – 280 с.
4. Niu, H., Lin, T. Fiber generators in needleless electrospinning. *Journal of Nanomaterials*, 2012, P. 1–13.
5. Luo, C. J., Stoyanov, S. D., Stride, E., Pelan, E., & Edirisinghe, M. Electrospinning versus fibre production methods: from specifics to technological convergence. *Chemical Society Reviews*, 41(13), 2012, P. 4708.
6. Persano, L., Camposeo, A., Tekmen, C., Pisignano, D. Industrial upscaling of electrospinning and applications of polymer nanofibers: a review. *Macromolecular Materials and Engineering*, 298(5), 2013, P. 504–520.
7. SalehHudin, H. S., Mohamad, E. N., Mahadi, W. N. L., & Muhammad Afifi, A. Multiple-jet electrospinning methods for nanofiber processing: A review. *Materials and Manufacturing Processes*, 33(5), 2017, P. 479–498.
8. Petrik, S., Maly, M. Production nozzle-less electrospinning nanofiber technology. *MRS Proceedings*, 2009, P. 1240.
9. Um, I. C., Fang, D., Hsiao, B. S., Okamoto, A., & Chu, B. Electro-spinning and electro-blowing of hyaluronic acid. *Biomacromolecules*, 5(4), 2004, P. 1428–1436.
10. Engström, J.; Hagström, B. Centrifugal spinning of nano-fiber webs - a parameter study of a novel spinning process. *Nord. Text. J.* 2009, P. 83–91.

УДК 677.03:519.876.5

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ РАВНОВЕСНОСТИ ВОЛОКНИСТЫХ
МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИХ**
THEORETICAL BASICS OF FIBER MATERIALS AND FABRICS EQUILIBRIUM

Петр Алексеевич Севостьянов
Petr A. Sevostyanov

*Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва*
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: petrsev46@yandex.ru)

Аннотация: Рассмотрены некоторые особенности применения флуктуационно – диссипационной теоремы (ФДТ) к волокнистым материалам

Abstract: Some application features of the fluctuation – dissipative theorem (FDT) to textile materials are considered

Ключевые слова: волокнистые материалы, релаксация, флуктуационно – диссипационная теорема.

Keywords: textile materials, relaxation, fluctuation – dissipative theorem

Флуктуационно – диссипационная теорема (ФДТ) была сформулирована и доказана для широкого класса квантовых и классических систем в течение 30-х – 60-х годов 20 века [1, 2, 3, 4]. В теореме рассматриваются механические системы, не содержащие в явном виде диссипативные элементы, ответственные за необратимое рассеяние механической энергии и преобразование этой энергии в тепловую форму. Однако в этих системах существуют силовые воздействия между элементами, имеющие вероятностную природу, т.е. случайные по величине и направлению действия. Очевидно, что фазовые траектории таких систем описываются случайными функциями. Поскольку динамика этого класса систем описывается дифференциальными уравнениями со случайными параметрами и функциями, то их вероятностные характеристики могут быть оценены с применением уравнений Колмогорова – Фоккера – Планка или другими методами анализа случайных процессов и систем хаотической динамики [4, 5, 6].

Как известно, макроскопические механические формы движения при отсутствии таких источников и причин диссипации энергии, как вязкое или сухое трение, являются обратимыми, что и обеспечивает выполнение закона сохранения механической энергии для замкнутых систем.

Эффект вязкого трения обусловлен силами межмолекулярного взаимодействия. Эти силы электромагнитной природы содержат составляющие, которые зависят от нечетных или высоких (выше второй) четных степеней расстояний между взаимодействующими центрами в условия коллективного взаимодействия многих частиц - элементов систем. Эти степени и проявляются в виде сил вязкого трения между элементами системы и приводят к необратимости движения механических систем с вязким трением.

Эффект сухого трения связан с микронеровностями поверхностей взаимодействующих элементов системы, касающихся друг друга этими поверхностями. При относительном смещении поверхностей происходят соударения их неровностей, приводящие к их частичному или полному разрушению или отклонениям от направления смещения [5,6]. Эти последствия взаимодействия необратимы, что и приводит к необратимости макроскопического движения механических систем с сухим трением между их элементами. В работе [7, 8] нами доказано, что если в системе с сухим трением присутствуют случайные флуктуации параметров сухого трения между элементами, то интегральный эффект такого сухого трения превращается в закономерности, действующие при вязком трении, т.е. возникает гладкая пропорциональная

зависимость между скоростью взаимного перемещения трущихся поверхностей и силой трения.

ФДТ рассматривает системы, в которых отсутствуют все виды трения, но есть силовые воздействия на элементы вероятностной природы. ФДТ доказывает, что эти случайные по величине и направлению воздействия приводят к необратимости движения механической системы. При этом механическая энергия равномерно перераспределяется между элементами системы, что понижает их общую подвижность, т.е. кинетическую составляющую механической энергии, а потенциальная составляющая выравнивается по объему, что означает переход системы к равновесному состоянию. Из теоремы следует, что интегральное действие случайных флуктуаций равноценно необратимому эффекту диссипации механической энергии системы.

Простой иллюстрацией теоремы является механическая модель поршня в замкнутом цилиндре. С одной стороны поршня расположена пружина, которая действует на него с упругой силой растяжения – сжатия. С другой стороны с поршнем соударяются молекулы идеального газа, который находится в изотермическом состоянии со стенками цилиндра. Столкновениями между молекулами газа пренебрегают. Хаотически перемещаясь, молекулы сталкиваются с поршнем, обмениваются с ним своими импульсами и тем самым влияют на его движение. Если бы движение молекул не было хаотичным, их соударения с поршнем носило бы закономерный характер. Поршень совершал бы вынужденные колебания в соответствии с уравнением динамики второго закона Ньютона с двумя действующими силами: упругой силы пружины и действием сжимаемого и расширяемого газа. Эти колебания были бы незатухающими, что говорило бы об отсутствии диссипации энергии и об обратимости механической системы. Хаотичность соударения молекул с поршнем меняет результат решения уравнения: оно приобретает вид затухающих колебаний. Кинетическая энергия системы перераспределяется между ее элементами. Возникает эффект необратимости движения.

По нашему мнению, именно этот эффект, подтвержденный ФДТ, является причиной быстрого прекращения взаимных перемещений отдельных волокон и нитей в пряже и нетканых материалах, а пряжи – в тканых и вязаных полотнах, и релаксации механических напряжений. Этот эффект, наряду с действием сил сухого трения, и обуславливает возникновение равновесности этих волокнистых материалов, которое невозможно иначе объяснить как исто механическое макроскопическое явление. «Работа» ФДТ объясняет и неоднозначность конечных состояний волокнистого материала после снятия напряжений, внешних воздействий и релаксации. Она же является ответственной и за диссипацию энергии в волокнистых материалах, которая передается им в ходе технологических процессов.

Для оценки роли ФДТ в механике волокнистых материалов одним из наиболее перспективных направлений является применение методов компьютерного моделирования на основе статистической имитации динамических процессов, происходящих как с отдельными волокнами и нитями, так и с их ансамблями, насчитывающими миллионы волокон, что и является предметом исследований [7,8,9,10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Herbert B. Callen and Theodore A. Welton.* Irreversibility and Generalized Noise, Phys. Rev. 83, 34 (1951) DOI: 10.1103 / PhysRev. 83.34
2. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Статистическая физика. Ч.1. — Изд. 5-е.— М.: Физматлит, 2001.— 616 с.— («Теоретическая физика», том V).
3. *Селезнев В.Д., Жерноклеев Г.А., Мартюшев Л.М.* Флуктуационная теорема и термодинамическая энтропия. Письма в ЖЭТФ, т.102, вып.8, 2014, с.626-629.
4. *Татарский В.И.* Пример описания диссипативных процессов на основе обратимых динамических уравнений и некоторые замечания относительно флуктуационно-диссипационной теоремы. УФН 151. С.273–307. (1987)

5. Крагельский И.В. Физические свойства лубяного сырья. 2-е изд. М: Гизлегпром, 1939, 427 с.
6. Крагельский И.В. Трение и износ. — М.: Машиностроение. —1968
7. Севостьянов П.А. Компьютерные модели в механике волокнистых материалов. Монография. - М.: Тисо Принт. - 2013. - 254 с.
8. Севостьянов П.А. Статистическая имитация истирания тканей методами компьютерного моделирования. / П.А. Севостьянов, В.Ю. Никитюк, Д.А. Забродин, В.И. Лебедева // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011. - №2 (331). – С. 93-96. Библиогр.: с.96 (1 назв.) – ISSN 0021-3497
9. Севостьянов П.А. Статистическая имитация растяжения и разрыва пряжи. Изв. вузов. Технология текстильной промышленности, №3, 1981. С.9 – 14. – ISSN 0021-3497
10. Севостьянов П.А. Влияние числа обвивочных волокон на прочностные свойства пряжи пневмомеханического способа прядения. Изв. вузов. Технология текстильной промышленности, 5, 1983.

УДК 620.3 : 677

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЗОЛЕЙ СЕРЕБРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ
APPLICATION OF SILVER HYDROZOLS FOR THE PRODUCTION OF
ANTIBACTERIAL WARES**

**Людмила Ивановна Золина *, Кристина Олеговна Грачева **,
Владимир Ильич Родионов***
Ludmila I. Zolina*, Kristina O. Gracheva**, Vladimir I. Rodionov*****

**Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
*The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: zludmila0308@mail.ru)*

*** Испытательная Лаборатория ООО «Лабораторная Экспертиза» Россия, Москва
**Testing Laboratory «Laboratory Expertise», Russia, Moscow
(e-mail: kristina.gracheva.94@list.ru)*

****Индивидуальный предприниматель, Россия, Москва
***Self employed, Russia, Moscow
(e-mail: vladimirir@yandex.ru)*

Аннотация: Приведены результаты практического внедрения технологии модифицирования частицами серебра трикотажных материалов и изделий на Российском предприятии «Грация» г. Клин, Московской области. Установлен оптимальный вариант технологии: обработка изделий гидрозолею серебра производится совместно с процессом крашения и последующей выдержкой в экстракте коры дуба.

Abstract: The results of the practical implementation of the technology of nano-modification of silver particles of knitted materials and wares at the Russian enterprise "Gracia", Klin, Moscow region are presented. The optimal variant of the technology was established: the treatment of products with a silver hydrosol together with the process of dyeing and with the subsequent aging in oak bark extract.

Ключевые слова: бактерицидность, серебро, наночастицы, гидрозоль серебра, текстильные материалы

Keywords: bactericidal, silver, nanoparticles, silver hydrosol, textile materials

В настоящее время активно возрастает спрос на текстильные изделия с защитными свойствами. Выбор нанокompозитов серебра для модифицирования текстиля обусловлен их

значительными и неоспоримыми преимуществами перед всеми существующими средствами, поскольку соединения серебра, обладая широким спектром антимикробной активности, во многом лишены недостатков, связанных с проблемой резистентности к ним патогенных микроорганизмов. Наночастицы серебра применяются как биоцидная добавка – в форме модификатора, предназначенной для создания и производства новых материалов, покрытий и других видов продукции с биоцидными свойствами широкого спектра действия [1].

Особый интерес проявляется со стороны производителей трикотажных полотен, предназначенных для производства спортивной одежды, а также производителей носков и колгот. Это обусловлено предъявляемыми требованиями потребителей к данным ассортиментным группам, а именно: необходимостью придания бактериостатических свойств трикотажным материалам, используемых в условиях средней и высокой физической активности, и повышенного потоотделения тела человека, с целью минимизирования развития патогенной микрофлоры в пододежном пространстве;

Сам по себе пот не имеет неприятного запаха, он появляется в результате жизнедеятельности бактерий, обитающих на коже человека. В результате различных исследований было обнаружено, что запах пота на стопах связан с образованием изовалериановой кислоты, которая вырабатывается, когда *Staphylococcus epidermidis*, резидентный вид нормальной кожной микробной флоры, деградирует в лейцин, присутствующий в поте [2].

Но защита от бактерий и других вредоносных микроорганизмов нужна не только человеку, но и самому текстильному материалу. Проблема биоповреждений охватывает широкий круг научных и практических задач, связанных с защитой сырья, материалов и товаров от повреждения бактериями и грибами, как в условиях длительного хранения, так и при производстве, транспортировке и эксплуатации.

Предварительно при модификации текстильных материалов и изделий наноразмерными частицами серебра была отработана методика поверхностного закрепления их на волокнах нитей и пряжи. Вначале в лабораторных условиях определяли способность наночастиц серебра и макромолекул защитного коллоида к комплексообразованию с целлюлозой и полиамидом, а также с молекулами красителей, используемых для тканей [3].

Одной из задач исследования являлось применение гидрозолей серебра в условиях реального производства. Для этого на предприятии компании «Грация» (г. Клин, Московской обл.) была опробованы различные варианты технологии обработки гидрозолями серебра женских колгот.

Данный вид изделий изготавливается из полиамидного волокна, обладающего низкой адсорбционной способностью к наночастицам. Так как в области стопы происходит наиболее обильное потовыделение и создается комфортная среда для роста бактерий, то в подошвенную часть колгот была вшита хлопковая вставка, которая имеет более высокую адгезию к наночастицам серебра, чем полиамид. Для закрепления частиц гидрозоля на волокнах дополнительно проводили осаждение защитного коллоида желатина растворами танидов. Для этого было выбрано несколько видов экстрактов растений, с большим содержанием дубильных веществ – квебрахо, дуба и каштана. Сами таниды обладают некоторой бактерицидностью, что также способствует достижению результата.

Процесс обработки гидрозолем серебра происходил как в процессе крашения, так и в виде отдельной стадии производства и при использовании различных видов дубильных веществ [4].

Для качественной оценки результатов были проведены органолептические исследования на наличие запаха пота образцов колгот, обработанных гидрозолем серебра, а именно была проведена опытная носка с последующей оценкой эффективности обработки. Для данного эксперимента была выбрана группа добровольцев, которые оценивали наличие и характер запаха изделия после его использования. Оценка проводилась по балльной системе,

по которой максимальный положительный результат, т.е. полное отсутствие или очень слабый запах оценивался от 0 до 2-х баллов. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка интенсивности запаха изделий после опытной носки.

| № | Образец | Интенсивность запаха (балл) | | |
|----|---|-----------------------------|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. | Экстракт дуба 2 г/л, обработка в процессе крашения, цвет телесный | 1 | 1 | 2 |
| 2. | Экстракт квебрахо 2 г/л, обработка в процессе крашения, цвет телесный | 2 | 1 | 2 |
| 3. | Экстракт квебрахо 2 г/л, обработка в процессе крашения, цвет черный | 1 | 2 | 2 |
| 4. | Экстракт каштана 2 г/л, обработка в процессе крашения, цвет черный | 2 | 1 | 2 |
| 5. | Экстракт дуба 0,2 г/л, обработка после процесса крашения, цвет телесный | 2 | 3 | 3 |
| 6. | Экстракт дуба 2 г/л, обработка после процесса крашения, цвет телесный | 3 | 2 | 3 |

Для определения характера распределения частиц серебра на полиамидной и хлопковой части колгот был применен метод атомно-силовой микроскопии.

На поверхности хлопковых участках вставок наблюдалось большое количество округлых гранул, размером 50:50 нм, на которых равномерно распределялись частицы серебра. На поверхности полиамидных волокон концентрация частиц была меньше. Кроме того характер распределения серебра зависел от момента введения гидрозоля: в процессе крашения или в отдельной стадии, а также от добавления танидов.

Содержание серебра в обработанных материалах было получено методом лазерно-искрового эмиссионного спектро-анализа. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – результаты лазерно-искрового эмиссионного спектро-анализа содержания серебра в обработанных материалах.

| №№ | Образец | Содержание серебра, % |
|----|---|-----------------------|
| 1. | Экстракт дуба 2 г/л, обработка в процессе крашения, цвет телесный | 0,00139 |
| 2. | Экстракт квебрахо 2 г/л, обработка в процессе крашения, цвет телесный | 0,00081 |
| 3. | Экстракт квебрахо 2 г/л, обработка в процессе крашения, цвет черный | 0,00067 |
| 4. | Экстракт каштана 2 г/л, обработка в процессе крашения, цвет черный | 0,00064 |
| 5. | Экстракт дуба 0,2 г/л, обработка после процесса крашения, цвет телесный | 0,00054 |
| 6. | Экстракт дуба 2 г/л, обработка после процесса крашения, цвет телесный | 0,00037 |

По представленным результатам можно сделать вывод о том, что количество серебра зависит как от вида выбранного экстракта, так и от технологических особенностей способа обработки. Самый лучший результат был получен при добавлении экстракта дуба с концентрацией 2 г/л, но только при условии, что обработка гидрозодем серебра происходит в процессе крашения. При добавлении его по окончании этого процесса, в качестве отдельной стадии производства, содержание серебра уменьшается в 4 раза.

Таким образом, в соответствии с данными лазерно-искрового эмиссионного спектро-анализа наилучшие результаты были выявлены для образцов, обработка которых проводилась

в процессе крашения. Их органолептические оценки были в пределах от 1-2 баллов, что соответствует довольно слабому запаху, соответственно можно с уверенностью сказать, что происходит подавление роста бактерий. Для образцов, полученных путем обработки гидрозолем серебра отдельной стадией, результаты были в пределах от 2-3 баллов. Хотя эти результаты несколько хуже, но они также подтверждают антибактериальный эффект обработки материалов гидрозолем серебра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букина, Ю.А. Получение антибактериальных текстильных материалов на основе наночастиц серебра посредством модификации поверхности текстиля неравновесной низкотемпературной плазмой / Ю.А. Букина, Е.А. Сергеева // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - № 7. - С. 125-128.

2. Katsutoshi A., Masakatsu H., Syunichi A., Kenzo K., Koichi O., Toyoki H., Tetsuro K., and Fusao T. Foot odor due to microbial metabolism and its control. Can. J. Microbiol. Vol. 52, 2006.

3. Кобраков К.И., Золина Л.И., Баранова О. Н., Грачева К.О., Родионов И.В. Разработка технологии изготовления бактерицидных и бактериостатических текстильных материалов и изделий материалов из натуральных и синтетических волокон, модифицированных наноразмерными частицами серебра. Сборник докладов. Третьего международного научно-практического симпозиума. Научно-производственное партнерство: взаимодействие науки и текстильных предприятий и новые сферы применения технического текстиля. Москва 31 марта 2018г. с. 295-300

4. Золина, Л.И., Мишаков, В.Ю., Жихарев, А.П., Баранов, В.Д., Полухина, Л.М., Межуев, С.В. Композиция на основе гидрозоля серебра для придания антимикробных свойств волокнисто-сетчатым материалам. Патент РФ №2405557 от 08 июня 2009 г.

УДК 677.027.13

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРОМЫВКИ ПРЕССОВЫХ СУКОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЮЩЕГО СРЕДСТВА ПРЕВОЦЕЛЛ W-OFp-100 THE CHOICE OF RATIONAL FOR WASHING PRESSING CLOTH, USING THE DETERGENT PREVOTELLA W-OFp-100

Григорий Игоревич Хазанов, Маргарита Алексеевна Апарушкина
Gregory I. Hazanov, Margarita A. Aparushkina

*Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: hasanov_gr_1957@rambler.ru, paxt@yandex.ru)*

Аннотация: Рассмотрены вопросы усовершенствования технологии промывки прессовых сукон с использованием моющего средства превоцелл W-OFp-100. Для выбора рациональных условий промывки использовалось ротатбельное центральное композиционное планирование эксперимента, получены уравнения для расчета водопоглощения и остаточного содержания загрязнений в сукне.

Abstract: The chouse of rational conditions for washing, pressing cloth, using the detergent Prevotella W-OFp-100. To select sound modalities used washing rotatable central composite planning experiment, the equations for the calculation of water and dirt in felt.

Ключевые слова: промывка, прессовые сукна, ротатбельное центральное композиционное планирование эксперимента, водопоглощение.

Keywords: washing machines, cloth, rotatable central composite planning experiment, water absorption.

Условия проведения процесса промывки в процессе производства технических сукон не оптимальны.

Поэтому нами проводились исследования направленные на усовершенствование технологии промывки технических сукон для прессовой части бумагоделательных машин.

Исходной точкой проведенных исследований являлась производственная технология, осуществляемая при скорости движения сукна 30 м/мин, без отжима, по режиму:

- замачивание на воде при температуре 38°C и модуле ванны 8 – 15 мин;
- обработка проточной водой – 5 мин;
- промывка раствором моющих веществ: моющее средство «Новость» 0,5 г/л, сода кальцинированная 0,25 г/л при 38°C и модуле ванны 8 - 15 мин;
- промывка проточной водой при температуре 30°C – 15 мин;
- промывка проточной водой при 15°C 0-10 мин.

Приведенный режим промывки связан с характером присутствующих в сукне загрязнений – шерстяного жира, замасливателя, содержащего антистатик ОС-20 и состав Б-73[1]. Значительная часть применяемого замасливателя хорошо вымывается водой. После промывки в течение двух часов при 35°C остаточное содержание загрязнений в изделии составляло 0,9%, при исходном - 3,43%.

При работе на бумагоделательной машине прессовые сукна должны быстро отводить воду из бумажной массы, эффективность обезвоживания которой во многом зависит от количества жидкости, поглощаемой текстильным материалом[2, 3].

Поэтому при планировании эксперимента в качестве выходной переменной максимизировалось водопоглощение сукна Y_1 (%). Как известно, в процессе промывки происходит вымывание загрязнений, количество которых на текстильном материале Y_2 (%) в соответствии с Отраслевым регламентированным режимом промывки для сукон ИКП-13 не должно превышать 0,3%, что является ограничительным условием при проведении технологической операции. При выполнении указанных требований желательным являлось сокращение общей продолжительности процесса.

Эксперимент проводился на лабораторной установке, представляющей собой промывной машины фирмы Кретен, которыми оснащены отечественные предприятия, выпускающие технические сукна.

Для выбора рациональных режимов промывки использовался метод ротатабельного центрального композиционного планирования эксперимента, на основе которого проводилось определение полиномиальной регрессионной многофакторной модели второго порядка с последующей оптимизацией процесса с помощью методов канонического преобразования уравнения регрессии и сканирования переменных. Значимость коэффициентов регрессии и адекватность полученных уравнений проверялись по принятой при планировании эксперимента методике для доверительной вероятности 0,95 [4, 5].

На процесс промывки оказывают влияние: температура, модуль ванны, состав и концентрация моющих веществ, длительность отдельных стадий и общая продолжительность технологической операции, которые являлись факторами при планировании эксперимента.

Первоначально в качестве факторов на стадиях замачивания на воде и промывки раствором моющих веществ, в случае применения неионогенного моющего средства превоцелл W-OFp-100 при сохранении остальных условий проведения процесса использовались температура, модуль ванны и концентрация моющего вещества, для которых выбирались интервалы варьирования. При выборе интервалов варьирования руководствовались тем, что для большинства ПАВ оптимальная температура промывки находится в пределах 40-45°C, а модуль ванны 6-8 при водопоглощении сукна около 200%. Интервал варьирования концентрации моющего вещества выбирался исходя из того, что при промывки шерсти увеличение концентрации поверхностно-активного вещества до 1 г/л существенно улучшает моющий эффект, который при дальнейшем ее повышении изменяется незначительно [6].

Для приведенного состава моющих веществ факторы, уровни и интервалы их варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Интервалы и уровни варьирования температуры и модуля ванны при промывки технических сукон.

| Факторы X_1, X_2, X_3 | Уровни варьирования | | | | | Интервал варьирования |
|----------------------------|---------------------|------|------|------|-------|--------------------------|
| | -1,682 | -1 | 0 | 1 | 1,682 | |
| K_1 | 26,0 | 30,9 | 38,0 | 45,1 | 50,0 | 7,1 |
| K_2 | 3,48 | 4,5 | 6,0 | 7,5 | 8,52 | 1,5 |
| K_3 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 0,3 |

K_1 (°C), X_1 – температура в натуральном и безразмерном масштабе;

K_2, X_2 – модуль ванны в натуральном и безразмерном масштабе;

K_3, X_3 – концентрация превоцелла W-OFp-100 в натуральном и безразмерном масштабе.

После обработке экспериментальных данных по известной методике [4, 5] были получены уравнения регрессии (1), (2) для определения водопоглощения (Y_1) и остаточного содержания загрязнений (Y_2).

$$Y_1 = 203,4 + 3,3X_1 - 3,2X_2 - 5,1X_3 + 4,8X_1X_2 + 6,9X_1X_3 - 0,2X_2X_3 + 8,3(X_1)^2 + 2,7(X_2)^2 + 2,8(X_3)^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 0,32 - 0,16X_1 - 0,06X_2 - 0,09X_3 - 0,01X_1X_2 + 0,04X_1X_3 - 0,04X_2X_3 + 0,13(X_1)^2 + 0,03(X_2)^2 + 0,1(X_3)^2 \quad (2)$$

Полученные уравнения использовались для определения рациональных условий проведения технологической операции. При выборе рациональных условий промывки, уравнения (1) и (2) рассматривались одновременно. Решение поставленной задачи осуществлялось путем сканирования переменных X_1, X_2 и X_3 с расчетом на каждом шаге Y_1 и Y_2 . По результатам сканирования выбирались рациональные условия проведения технологической операции: температура 43°C, модуль ванны 8, концентрация моющего средства превоцелл W-OFp-100.

На основании найденных рациональных условий проведения процесса была проведена дополнительная оптимизация в зависимости от длительности промывки раствором моющих веществ и замачивания на воде. Интервалы и уровни варьирования этих стадий выбирались с учетом их продолжительности на производстве, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Интервалы и уровни варьирования длительности стадий замачивания на воде и промывки раствором моющих веществ.

| Факторы X_4, X_5 | Уровни варьирования | | | | | Интервал варьирования |
|-----------------------|---------------------|----|----|----|-------|--------------------------|
| | -1,414 | -1 | 0 | 1 | 1,414 | |
| K_4 | 8 | 10 | 15 | 20 | 22 | 5 |
| K_5 | 8 | 10 | 15 | 20 | 22 | 5 |

K_4 (мин), X_4 – длительности стадии замачивания на воде в натуральном и безразмерном масштабе;

K_5 (мин), X_5 – длительность стадии промывки раствором моющих веществ в натуральном и безразмерном масштабе.

Обработкой экспериментальных данных были получены уравнения регрессии для определения водопоглощения (%) и остаточного содержания загрязнения (%).

$$Y_1 = 215,9 + 2,5X_4 + 2,4X_5 - 6,4X_4X_5 - 3,2(X_4)^2 - (X_5)^2 \quad (3)$$

$$Y_2 = 0,23 - 0,16X_4 - 0,1X_5 - 0,01X_4X_5 + 0,12(X_4)^2 + 0,08(X_5)^2 \quad (4)$$

Уравнения регрессии (3), (4) использовались при оптимизации промывки технических сукон, из анализа которых выбирались рациональные условия проведения процесса: длительность стадии: замачивания на воде – 16 мин и промывки раствором моющих веществ – 14 мин при водопоглощении 216,1% и остаточного содержания загрязнений 0,22%. Полученные значения рациональных условий промывки проверялись экспериментально: в лабораторных условиях – $Y_1 = 217,2\%$, $Y_2 = 0,25\%$ и на производстве – $Y_1 = 217,4\%$, $Y_2 = 0,25\%$. Близкие величины расчетных и экспериментальных значений водопоглощения и остаточного содержания загрязнений указывают на возможность использования полученных математических моделей для описания процесса промывки технических сукон.

Разработанная технология была использована при проведении промывки технических сукон в производственных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Месник О.М., Подерягин Г.М., Гутман Г.М. и др. Замасливатель для шерстяного волокна. А.с. 588274 (СССР) // Б.И. 1978, №2.
2. Хохряков А.А., Путилин В.В. Технические сукна для бумаго- и картоноделательных машин. М.: ВНИИПИЭлеспром, 1971. 184 с.
3. Новиков Н.Е., Бусыгин Ф.М., Цирельсон Г.И. Обезвоживание бумаги на прессах бумагоделательных машин. М.: ВНИИПИЭлеспром, 1977. 78 с.
4. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. М.: Легкая индустрия, 1980. 392 с.
5. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в текстильной промышленности. М.: Высшая школа, 1985. 327 с.
6. Сергеев В.Я., Хохряков А.А., Лебедева Е.А. Технология производства технических сукон. М.: Легкая индустрия, 1977. 184 с.

УДК 532.542

ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА РЕЙНОЛЬДСА НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ ВБЛИЗИ ТВЕРДЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ INFLUENCE OF THE REYNOLDS NUMBER ON THE REGULARITIES OF TURBULENT FLOWS NEAR SOLID SURFACES

Юрий Георгиевич Чесноков
Yurii G. Chesnokov

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Россия, Санкт-Петербург
St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University), Russia, St. Petersburg
(e-mail: ygchesnokov@yandex.ru)

Аннотация: Рассмотрено влияние числа Рейнольдса, характеризующего турбулентное течение, на статистические характеристики течения в непосредственной окрестности твердой поверхности (в вязком подслое и буферной зоне). Используются данные, полученные при помощи метода прямого численного моделирования различными авторами.

Abstract: The influence of the Reynolds number characterizing of the flow in the immediate vicinity of solid surface (in the viscous sublayer and the buffer zone) is considered. The data obtained using the method of direct numerical simulation by various authors are used.

Ключевые слова: турбулентные течения, турбулентный пограничный слой.
Keywords: turbulent flows, turbulent boundary layer.

Изучение закономерностей турбулентных течений вблизи твердых поверхностей имеет большое значение для разработки научно обоснованных методов расчета тепло- и массообменных процессов турбулентных потоков с твердой поверхностью. Основную роль играет область, непосредственно примыкающая к твердой поверхности, так называемые вязкий подслой и буферная зона. Именно здесь достигается максимальное значение кинетической энергии турбулентных пульсаций, определяющих закономерности турбулентного перемешивания. В том случае, когда рассматривается массообмен между турбулентным потоком и поверхностью, а диффузионный критерий Прандтля имеет большие значения, толщина диффузионного пограничного слоя, где сосредоточено основное изменение концентрации переносимого вещества, существенно меньше толщины вязкого подслоя.

Ввиду чрезвычайно малых размеров рассматриваемой зоны, экспериментальное исследование процессов переноса, протекающих в пределах этой области, наталкивается на значительные трудности. В последние несколько десятилетий, благодаря быстрому развитию компьютеров, получил развитие новый метод исследования турбулентных потоков, так называемый метод прямого численного моделирования. Этот метод позволяет определять такие характеристики потоков, которые очень трудно находить экспериментально.

В работах [1,2] результаты, полученные при помощи указанного метода рядом авторов, использовались для того, чтобы изучить влияния числа Рейнольдса на различные статистические характеристики турбулентных потоков. Данный метод использовался также для расчета теплообменных процессов. В работах [3,4] эти результаты применялись для исследования влияния числа Рейнольдса на статистические характеристики поля температуры.

В упомянутых статьях использовались результаты, полученные при сравнительно малых значениях числа Рейнольдса. В последние годы появились работы [5,6], в которых при расчетах достигнуты значения числа Рейнольдса, определенного по средней по сечению скорости и эквивалентному диаметру канала, равные 500000. В настоящем сообщении, с учетом результатов таких работ, изучено влияние числа Рейнольдса на поведение напряжений Рейнольдса в примыкающей к стенке области. Полный список работ, результаты которых применялись при этом исследовании, можно найти в [7,8].

Обычно предполагается, что в непосредственной окрестности стенки зависимости статистических характеристик турбулентности от расстояния до стенки имеют универсальный характер, т.е. не зависят от числа Рейнольдса и типа течения. Однако, как показывают результаты прямого численного моделирования, это не так. Например, среднеквадратичные значения пульсационных составляющих проекций вихря скорости в окрестности стенки существенно зависят от числа Рейнольдса [8]. Введем в рассмотрение динамическую скорость $u_\tau = \sqrt{\tau/\rho}$ и динамическую длину $l_\tau = \nu/u_\tau$. Здесь τ – напряжение трения на стенке, ρ – плотность жидкости, ν – ее кинематическая вязкость. Если в качестве масштабов длины и скорости выбрать динамические длину и скорость и перейти к безразмерным переменным, то соответствующие безразмерные переменные называются переменными стенки и обозначаются при помощи надстрочного индекса «плюс». Черта над переменной будет обозначать операцию статистического усреднения, через u , v и w обозначим продольную, нормальную к стенке и поперечную проекции пульсационной составляющей скорости жидкости. Ограничимся рассмотрением течений в плоском канале с полушириной h . В вязком подслое при малых значениях y^+ статистические характеристики турбулентности можно разложить в ряды по степеням y^+ . На стенке (при $y^+ = 0$) в силу условия прилипания пульсационная составляющая скорости жидкости обращается в нуль, т.е. $u = v = w = 0$. На основании уравнения неразрывности можно сделать вывод, что и производная dv/dy на стенке должна быть равна нулю. Поэтому указанные разложения должны иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} -\overline{u^+v^+} &= a_{uv}y^{+3} + b_{uv}y^{+4} + \dots, & \sqrt{u^{+2}} &= a_u y^+ + b_u y^{+2} + \dots, \\ \sqrt{v^{+2}} &= a_v y^{+2} + b_v y^{+3} + \dots, & \sqrt{w^{+2}} &= a_w y^+ + b_w y^{+2} + \dots. \end{aligned} \quad (1)$$

Если закон стенки справедлив, то коэффициенты в этих разложениях не должны зависеть от числа Рейнольдса. Коэффициенты разложений можно определить при помощи данных, полученных методом прямого численного моделирования. Оказывается, что они изменяются при изменении числа Рейнольдса. Справедлива следующие приближенные соотношения:

$$\begin{aligned} \ln a_{uv} &= -6.536 - \frac{1.154}{\ln h^+ - 3.514}, & \ln a_u &= -0.7008 - \frac{0.6466}{\ln h^+ - 3.064} \\ \ln a_v &= -3.929 - \frac{1.626}{\ln h^+ - 3.127}, & \ln a_w &= -0.9090 - \frac{1.351}{\ln h^+ - 3.259} \end{aligned} \quad (2)$$

Формулы, связывающие между собой h^+ и число Рейнольдса получены в [7].

Выводы

Получены формулы для расчета касательного напряжения Рейнольдса $-\overline{u^+v^+}$ и среднеквадратичных значений проекций пульсационной составляющей скорости. Эти результаты могут использоваться при описании тепло- и массообменных процессов в турбулентных потоках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чесноков Ю.Г. Влияние числа Рейнольдса на закономерности турбулентного течения жидкости в плоском канале // Журнал технической физики. 2010. Т.80. С.33-39.
2. Чесноков Ю.Г. Отклонения от закона дефекта скорости, наблюдаемые при малых значениях числа Рейнольдса // Журнал технической физики. 2011. Т.81. С.30-34.
3. Чесноков Ю.Г. Отклонения от закона дефекта температуры // Журнал прикладной химии. 2013. Т.86. №2. С.239-245.
4. Чесноков Ю. Г. О законе стенки для температуры // Теоретические основы химической технологии. 2017. Т. 51. №. 2. С. 230-234.
5. Lozano-Duran A., Jimenez J. Effect of the computational domain on direct simulations of turbulent channels up to $Re_\tau = 4200$ // Phys. Fluids. 2014. V.26. 011702.
6. Lee M., Mozer R.D. Direct numerical simulation of turbulent channel flow up to $Re_\tau = 5200$ // J. Fluid Mech. 2015. V.774. P.395-415.
7. Чесноков Ю.Г. Зависимость от критерия Рейнольдса интегральных характеристик течения в плоском канале // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2016. №. 36. С. 104-107.
8. Чесноков Ю.Г. Влияние числа Рейнольдса на распределение пульсационной составляющей вихря скорости по сечению плоского канала // Журнал технической физики. 2019. Т.89. С.347-352.

УДК 677.494

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ
НА УСТАНОВКЕ FLUIDNATEK LE-50
OPTIMIZATION OF ELECTRICAL FORMATION PROCESS
ON FLUIDNATEK LE-50 INSTALLATION**

**Дмитрий Борисович Рыклин, Владислав Михайлович Азарченко,
Мария Александровна Демидова
Dmitry B. Ryklin, Vladislav M. Azarchenko, Maria A. Demidova**

*Витебский государственный технологический университет, Беларусь, Витебск
Vitebsk State Technological University, Belarus, Vitebsk
(e-mail: ryklin-db@mail.ru; azarchenko22@mail.ru)*

Аннотация: Статья посвящена определению рациональных режимов получения нановолокнистых материалов на установке Fluidnatek LE-50 с использованием прядильных головок различных конструкций. Проведены экспериментальные исследования процесса электроформования материалов из раствора поливинилового спирта, а также определено влияние напряжения на коллекторе на протекание процесса электроформования. В результате статистической обработки экспериментальных данных получены регрессионные модели, описывающие зависимость расхода волокнообразующего раствора от напряжения на эмиттере и расстояния между электродами установки для каждой из прядильных головок. Определены режимы работы установки, обеспечивающие стабильное протекание процесса при максимальном расходе раствора.

Abstract: The paper is devoted to the determining of rational modes of nanofiber materials manufacturing on the machine Fluidnatek LE-50 using spinning heads of various designs. Experimental studies of the materials electrospinning from the solution of polyvinyl alcohol have been carried out. The influence of the voltage at the collector on the electrospinning process was determined. As a result of experimental data statistical processing, regression models describing the influence of voltage at the emitter and the distance between the electrodes on the solution consumption were obtained for each spinning heads. The operating modes of the installation have been determined, which ensure the stable process with the maximum flow rate of the solution.

Ключевые слова: электроформование, нановолокна, раствор полимера, вязкость, рациональный режим, прядильная головка, коаксиальная прядильная головка.

Keywords: electrospinning, nanofibers, polymer solution, viscosity, rational mode, spinning head, coaxial spinning head.

Электроформование является перспективным методом получения непрерывных нановолокнистых материалов с применением высокопотенциального электрического поля [1, 2]. Данная технология позволяет получать материалы разнообразного назначения и может быть использована как в лабораторных, так и в промышленных условиях [3, 4, 5].

Исследования в данной работе проводились на установке для формирования нановолокнистых материалов Fluidnatek LE-50. При работе на данной установке волокнообразующий раствор поступает по капилляру к электроформовочной головке (эмиттеру), на которую подаётся положительное напряжение. Нановолокна наносятся на подложку, закреплённую на барабане (осадительный электрод или коллектор), на который подаётся отрицательное напряжение. Подбор компонентов раствора, регулирование параметров процесса и окружающей среды позволяют получать материалы из различных по составу и диаметру нановолокон [4].

Целью данной работы являлось определение рациональных режимов получения нановолокнистых материалов с использованием прядильных головок различных конструкций

из водного раствора, содержащего 15% поливинилового спирта марки Selvol 205 компании Sekisui Specialty Chemicals Europe S.L. (США). Динамическая вязкость раствора составляет 329,09 мПа·с, что входит в пределы рекомендуемого диапазона данного показателя для волокнообразующих растворов при электроформовании (от 100 до 3000 мПа·с). Было принято решение стабильным считать такое протекание процесса, при котором размер капли на кончике иглы формовочной головки не изменяется с течением времени, а процесс формирования и вытягивания струи из раствора происходит непрерывно.

На установке Fluidnatek LE-50 могут быть использованы два типа прядильных головок: обычная и коаксиальная. Внешний вид головок представлен на рисунке 1. В литературе отмечается, что коаксиальная головка, содержащая внутреннюю и наружную иглы, позволяет вырабатывать двухслойные нановолоконные конструкции. Этот метод доказал свою универсальность для инкапсуляции биорелевантных молекул и нанокомпозитов [6].



а)

б)

а) обычная; б) коаксиальная.

Рисунок 1 – Внешний вид прядильных головок

В качестве критерия эффективности процесса электроформования при проведении эксперимента был принят максимальный расход раствора. Интервалы варьирования факторов эксперимента представлены в таблице 1.

Для планирования эксперимента по установлению рациональных режимов получения нановолокнистых материалов необходимо удостовериться в том, могут ли исследуемые режимы работы установки регулироваться независимо друг от друга в заданном диапазоне варьирования без нарушения стабильности процесса электроформования. В связи с этим, на первом этапе исследований был проведен предварительный эксперимент с целью определения влияния напряжения на коллекторе на протекание процесса электроформования. Установлено, что стабильный процесс электроформования имеет место при одновременном увеличении абсолютных значений напряжения, подаваемого на оба электрода. В противном случае наблюдается нестабильность формы конуса Тейлора и образования на его вершине полимерной струи.

Однако влияние напряжения, подаваемого на коллектор, на характеристики процесса электроформования зависит от напряжения, подаваемого на эмиттер. При проведении исследований напряжение на коллекторе менялось от -5 до -9 кВ с шагом 1 кВ при трех значениях расстояния между электродами (8, 10 и 12 см) и двух значениях напряжения на эмиттере - 20 кВ и 23 кВ. В данном интервале при напряжении 20 кВ на эмиттере расход волокнообразующего раствора не менялся и составил 120 мкл/ч. При напряжении в 23 кВ расход монотонно повышается с ростом абсолютного значения напряжения на коллекторе и достигает 200 мкл/ч.

На основании анализа результатов предварительных исследований осуществлено планирование эксперимента, целью которого являлось определение оптимальных параметров работы прядильных головок двух конструкций. Независимыми варьируемыми факторами являлись напряжение на эмиттере P_+ и расстояние между электродами D . Абсолютное

значение напряжения P_- на коллекторе увеличивалось одновременно с увеличением значения P_+ . Диапазоны и интервалы варьирования факторов эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Диапазоны и интервалы варьирования факторов эксперимента.

| Фактор | Диапазон варьирования | | Интервал варьирования |
|--|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | Минимальный уровень | Максимальный уровень | |
| Напряжение на эмиттере P_+ , кВ | 13 | 28 | 1 |
| Напряжение на коллекторе P_- , кВ | -5 | -9 | 1 |
| Расстояние между формирующими электродами D , см | 8 | 12 | 2 |

В результате статистической обработки экспериментальных данных получены регрессионные модели (1) – (3), описывающие зависимость расхода волокнообразующего раствора от напряжения на эмиттере и расстояния между формирующими электродами. При построении моделей использовались только такие соотношения параметров эксперимента, при которых процесс электроформования протекал стабильно.

Для обычной головки модель имеет следующий вид:

$$Q = D - 8,212 \cdot P_+ - 3,761 \cdot D \cdot P_+ + 3,214 \cdot D^2 + 1,963 \cdot P_+^2. \quad (1)$$

Для коаксиальной головки:

- внешняя игла

$$Q = 857,025 + D - 102,01 \cdot P_+ - 4,180 \cdot D^2 + 4,713 \cdot P_+^2; \quad (2)$$

- внутренняя игла

$$Q = -684,0 + D + 54,279 \cdot P_+ - 5,682 \cdot D \cdot P_+ + 5,159 \cdot D^2 + P_+^2. \quad (3)$$

Можно заключить, что для всех трех игл наблюдается схожие зависимости расхода от параметров процесса. При росте напряжения возрастает расход раствора, при этом максимальные расход достигается при наименьшем расстоянии между формирующими электродами. Однако для внешней иглы коаксиальной прядильной головки установлено, что с увеличением расстояния при максимальном напряжении нарушается стабильность процесса, что ведет к существенному снижению расхода.

В результате эксперимента были установлены рациональные значения параметров процесса, обеспечивающие стабильное производство нановолокнистых покрытий и материалов для обычной и коаксиальной прядильных головок, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Рациональные режимы производства нетканых нановолокнистых покрытий.

| Вид прядильной головки | Расстояние, см | Напряжение, кВ | Расход, мкл/ч |
|---------------------------------|----------------|----------------|---------------|
| Обычная прядильная головка | 8 | 25 | 600 |
| Коаксиальная прядильная головка | | | |
| - внешняя игла | 8 | 25 | 600 |
| - внутренняя игла | 8 | 26 | 600 |

Выводы

В данной работе получены зависимости расхода волокнообразующего раствора поливинилового спирта от параметров работы установки Fluidnatek LE-50 с использованием обычной и коаксиальной прядильных головок. Установлено, что наибольшее влияние на расход и стабильность процесса оказывает влияние расстояние между электродами. Максимальная производительность установки достигается при минимальном расстоянии между электродами, составляющем 8 см и напряжении на эмиттере 25 – 26 кВ.

Отрицательные значения напряжения на коллекторе практически не влияют на расход волокнообразующего раствора, однако влияют на стабильность процесса электроформования: чем выше значения напряжения на прядильной головке, тем выше необходимо устанавливать напряжение на барабане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huang, Z.M.; Zhang, Y.Z.; Kotaki, M. & Ramakrishna, S.: A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites, *Composites Science and Technology*, 63 (2003), pp. 2223-2253
2. Venugopal, J. & Ramakrishna, S.: Applications of polymer nanofibers in biomedicine and biotechnology, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 125 (2005), pp. 147-157
3. Ji, W.; Sun, Y.; Yang, F.; Van den Beucken, J.J.J.P.; Fan, M.; Chen, Z. & Jansen, J.A.: Bioactive electrospun scaffolds delivering growth factors and genes for tissue engineering applications, *Pharmaceutical Research*, 28 (2011), pp. 1259-1272
4. Liu, Y.; He, J.H.; Yu, J.Y. & Zeng, H.M.: Controlling numbers and sizes of beads in electrospun nanofibers, *Polymer International*, 57 (2008), pp. 632-636
5. Li, D.; Wang, Y. & Xia, Y.: Electrospinning nanofibers as uniaxially aligned arrays and layer-by-layer stacked films, *Advanced Materials*, 16 (2004), 4, pp. 361-366
6. Sun, Z.C.; Zussman, E.; Yarin, A.L.; Wendorff, J.H. & Greiner, A.: Compound coreshell polymer nanofibers by co-electrospinning, *Advanced Materials*, 15 (2003), pp. 1929-1932

УДК 677.054.845-231.321.2

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗГРУЖАТЕЛЕЙ В БАТАННОМ МЕХАНИЗМЕ ТКАЦКОГО СТАНКА СТБ DEVELOPMENT AND RESEARCH OF USING UNLOADER IN BATAN MECHANISM OF LOOM STB

**Николай Владимирович Степнов, Светлана Васильевна Кузякова,
Владимир Фатекович Абрамов
Nikolay Vladimirovich Stepnov, Svetlana Vasilyevna Kuzyakova,
Vladimir Fatekovich Abramov**

*Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Moscow
(e-mail: pr-mechanica@mail.ru)*

Аннотация: Проведено исследование возможности применения кулачковых пружинных разгрузателей на подбатанном валу ткацкого станка, определено влияние кулачковых пружинных разгрузателей на динамические характеристики батанного механизма.

Abstract: A study of the use of cam spring unloader on shaft loom, the influence of cam spring unloader on the dynamic characteristics of batan mechanism.

Ключевые слова: ткацкий станок, кулачковый пружинный разгрузатель, батанный механизм.

Keywords: a loom, cam spring unloader, batan mechanism.

Известно, что батан ткацких станков СТБ, обладая значительным моментом инерции, совершает качательное движение, при котором возникают большие силы инерции. В результате чего в кинематических парах батанного механизма действуют повышенные нагрузки, а главный вал ткацкого станка вращается с высокой неравномерностью, достигающей до 20% и более. Повышенная неравномерность вращения главного вала не только искажает

законы движения механизмов ткацкого станка, но и приводит к повышению уровня шума и вибрации. Для уравнивания сил, действующих на выходное звено кулачкового механизма можно использовать пружинные разгрузатели. Существуют патенты на конструкции, использующие пружинные разгрузатели для батанных механизмов ткацких станков. Схема подобного механизма приведена в патенте [1], где пружины присоединены непосредственно к батану (рис.1).

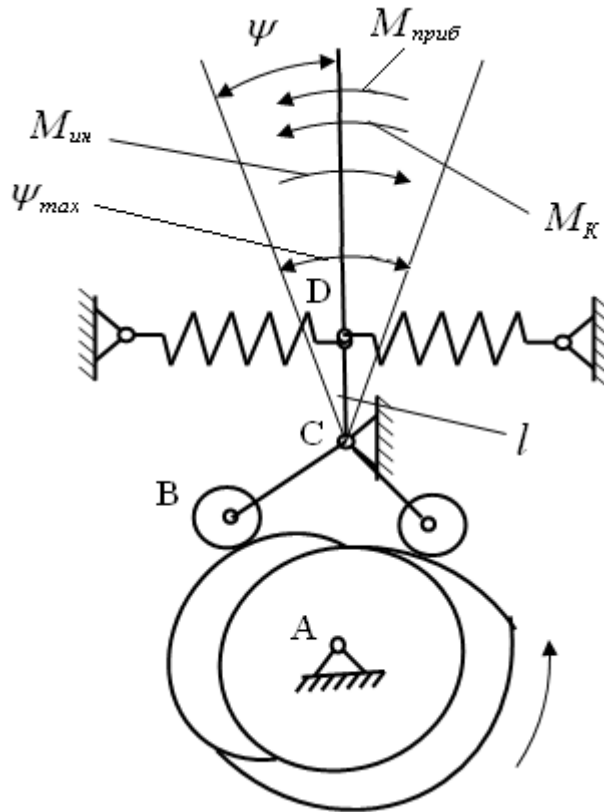


Рисунок 1 – Батанный механизм с пружинным разгрузателем

Допустим, что батан движется по трапециидальному закону при равных углах поворота кулачка соответствующих прямому и обратному ходу батана $\varphi_{п.х.} = \varphi_{о.х.}$. Корректирующий момент, возникающий от сил упругости пружины, должен быть равен нулю $M_k = 0$, в том положении механизма, при котором момент сил инерции батана $M_{ин} = 0$, угол поворота кулачкового вала $\varphi = \varphi_{п.х.} / 2$ и угол поворота батана $\psi = \psi_{max} / 2$. В этом случае при условии симметрии графика ускорения получаем, что корректирующий момент, как для прямого, так и для обратного хода батана определяется по формуле

$$M_k = c(s_{max} - 2s) \cdot l, \quad (1)$$

где c – коэффициент жесткости пружины, l – расстояние от оси вращения батана до точки крепления пружины, $s = \psi \cdot l$ – перемещение точки крепления пружины.

Коэффициент жесткости пружины можно найти из условия квадратического приближения функций M_k и момента сил инерции батана $M_{ин} = J \cdot \varepsilon$, где J – момент инерции батана относительно оси вращения. Рассмотрим обращение в минимум среднего значения разности

$$\Delta M = M_{ин} - M_k, \quad (2)$$

Как следует из работы [2], коэффициент жесткости пружины можно определить из условия минимума интеграла

$$I = \int_0^T [J \cdot \varepsilon - (\psi_{\max} - 2 \cdot \psi)]^2 dt \quad (3)$$

Из этого условия получаем

$$c = \frac{\gamma_0}{c_{00}} \quad (4)$$

$$\gamma_0 = \int_0^T [J \cdot \varepsilon \cdot (\psi_{\max} - 2 \cdot \psi)] dt \quad c_{00} = \int_0^T [(\psi_{\max} - 2 \cdot \psi)]^2 dt \quad (5)$$

где T – время перемещения батана из одного крайнего положения в другое.

На рисунке 2 показаны графики момента сил инерции батана $M_{ин}$ (кривая-1), момента сил упругости пружины M_k (кривая-2) и момента ΔM , являющегося их разностью (кривая 3). Как видно из графика момент сил упругости пружины не уравнивает полностью момент сил инерции батана, а кривая их разности ΔM пересекает координатную ось в шести точках, меняя свой знак. В результате столько же раз точка контакта роликов, установленных на коромысле батана, будет переходить с поверхности кулачка на контркулачок, и механизм будет подвергаться ударным нагрузкам.

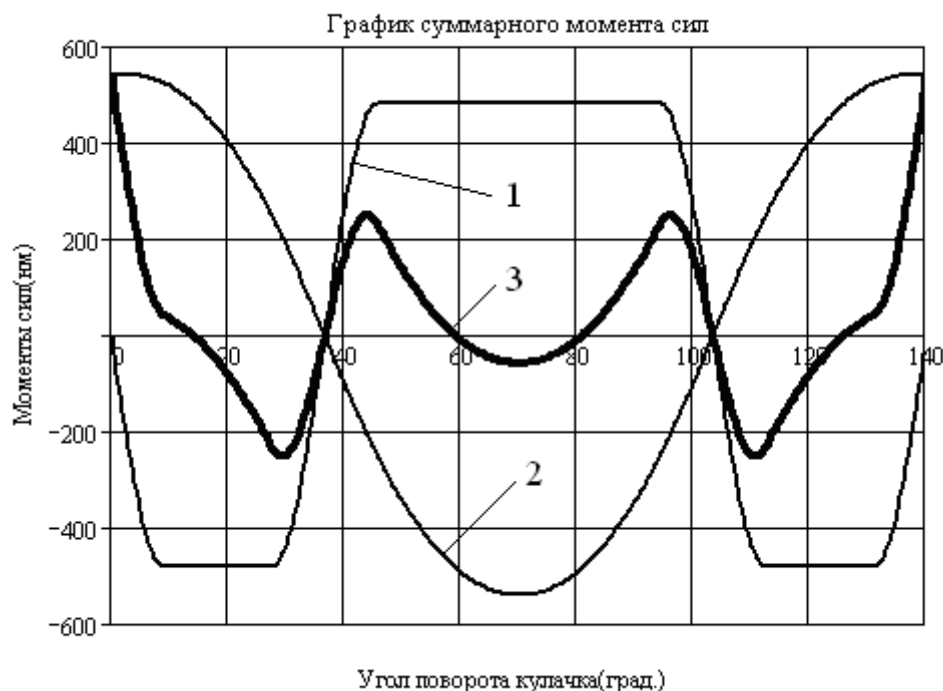


Рисунок 2 – График суммарного момента сил

Для полного уравнивания сил инерции батана следует применять кулачковые разгрузатели (рис.2) [3]. Кулачок 1 разгрузателя устанавливается на подбатанном валу, взаимодействует с пружиной 3 через коромысло 2 и создает корректирующий момент M_k , необходимый для уравнивания сил, действующих на подбатанном валу. Смена знака корректирующего момента при переходе от накопления энергии к её отдаче (или наоборот) происходит в положении, когда нормаль n-n к профилю кулачка проходит через центр вращения кулачка. При возвратно-вращательном движении кулачка разгрузателя один и тот же профиль используется как для прямого (движение к прибою), так и для обратного ходов батана. При симметричном законе движения батана его силы инерции будут уравновешены полностью. Если при определении корректирующего момента не учитываются силы

сопротивления (чисто инерционная нагрузка), корректирующий момент от сил упругости пружины будет равен моменту сил инерции батана $M_K = M_{ин}$.

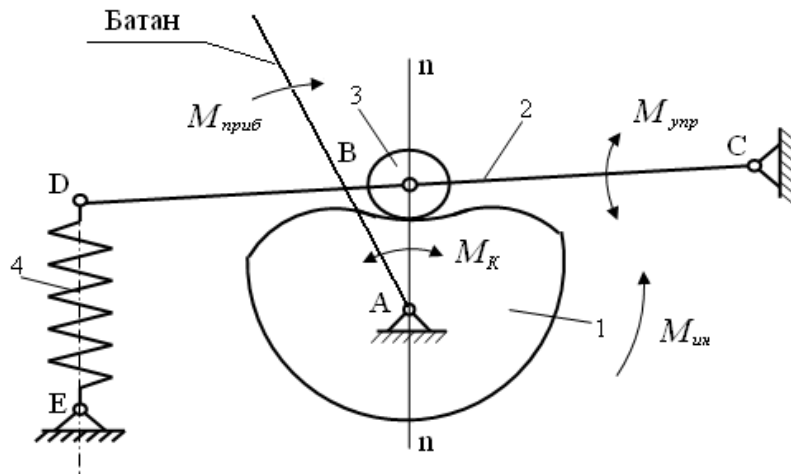


Рисунок 3 – Батанный механизм с кулачковым разгрузателем

Текущие значения отдаваемой и накапливаемой потенциальных энергий пружины определяем по формулам

$$A = \int_0^{\psi} M_K d\psi \quad A_H = \int_{\psi_{max}/2}^{\psi} M_K d\psi \quad (6)$$

Коэффициент жесткости пружины

$$c = \frac{2A_{max}}{2bx_{max} + x_{max}^2} \quad (7)$$

где b – предварительное натяжение пружины, x_{max} – максимальное растяжение пружины, A_{max} – максимальное значение накопленной потенциальной энергии.

Перемещение конца пружины (рисунок 3) на участках отдачи и накопления потенциальных энергий

$$x = -b + \sqrt{(b^2 + x_{max}^2) - \frac{2}{c}A_0} \quad x = -b + \sqrt{b^2 + \frac{2}{c}A_H} \quad (8)$$

Профиль кулачка разгрузателя рассчитывался по известным формулам теории механизмов [4]. При расчете профиля силы сопротивления, возникающие во время прибора, не учитывались.

Дифференциальное уравнение движения главного вала при установленном на подбатанный вал кулачковом разгрузателе имеет вид

$$J^{pp}(\varphi) \frac{d\omega}{d\varphi} \omega + \frac{1}{2} \omega^2 \frac{dJ^{pp}}{d\varphi} = M_D^{pp}(\omega) - M_C^{pp}(\varphi) + M_K^{pp}(\varphi) \quad (9)$$

где $J^{pp}(\varphi)$ – приведенный момент инерции станка, $J^{pp}(\varphi) = J_{s1} + J_6(\Pi'(\varphi))^2$, $M_D^{pp}(\omega)$ – приведенный момент движущих сил, $M_C^{pp}(\varphi)$ – приведенный момент сил сопротивления, $M_K^{pp}(\varphi)$ – приведенный к главному валу корректирующий момент, J_6 – момент инерции батана относительно оси вращения, J_{s1} – момент инерции главного вала и других элементов ткацкого станка, связанных с главным валом постоянным передаточным отношением.

Приведенный момент сил сопротивления

$$M_C^{pp} = M_C + M_{приб} \cdot \Pi'(\varphi) \quad (10)$$

где M_C – момент сопротивления движению, зависящий от трения в кинематических парах механизмов станка и от трения между рабочими органами и элементами системы заправки. Момент сопротивления $M_{\text{приб.}}$, возникающий во время прибора уточной нити к опушке ткани, определяется в соответствии с рекомендациями работы [5].

При проектировании уравновешивающего механизма расчет выполняется для номинальной скорости вращения главного вала и определенной технологической нагрузки. Расчет выполнялся для ткацкого станка СТБ-216 с асинхронным электродвигателем 4А80В4У3 мощностью $N=2,2$ кВт, $J_{s1} = 0,3$ кг·м², $J_6 = 0,39$ кг·м², частота вращения главного вала $n_1 = 300$ об/мин, технологическая нагрузка $M_C = 50,7$ Н·м, $M_{\text{приб.}} = 680$ Н·м – для камвольной костюмной ткани арт. 2268.

Решение дифференциального уравнения вращения главного вала (9) показывает, что при использовании разгрузителя установленного на подбattanном валу неравномерность вращения главного вала будет зависеть только от сил прибора и на участке циклограммы, где работает батанный механизм, при ниже приведенных исходных параметрах составляет 4-5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амман Ш., Гассай Л., Штирнеманн А. Патент РФ №2091523. Устройство для выравнивания мощности в батанном механизме ткацкого станка и ткацкий станок, содержащий это устройство. МПК⁶ D03 D49/60. Оpubл. 27.09.1997.
2. Левитский Н.И. Колебания в механизмах. – М: Машиностроение. 1988. – 336 с.
3. Лушников С.В., Белый М.А., Степнов Н. В. Патент на полезную модель РФ № 99486. Батанный механизм с кулачковым разгрузителем. Оpubл. 20.11.2010. Бюл. №32.
4. Фролов К.В. Теория механизмов и механика машин. – М.: Высшая школа, 2009. – 688 с.
5. Кортыцкий Я. И. Динамика упругих систем текстильных машин. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 272 с.

УДК 66.011

ВЛИЯНИЕ ЗАКУПОРИВАНИЯ ПОР НА ПРОЦЕСС ФИЛЬТРАЦИИ СУСПЕНЗИИ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ THE EFFECT OF PORES CLOGGING ON THE FILTRATION PROCESS OF A CALCIUM CARBONATE SUSPENSION

Юлия Александровна Таран, Алексей Валентинович Козлов
Yuliya A. Taran, Alexey V. Kozlov

*МИРЭА – Российский технологический университет
(Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова), Россия, Москва
MIREA - Russian Technological University
M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Russia, Moscow
(e-mail: capsula2@mail.ru)*

Аннотация: Рассмотрен процесс закупоривания пор фильтровальной перегородки, как процесс формально аналогичный процессам с структурной перестройкой исходной системы, определены индукционный период, скорости зарождения и роста забивающих поры отложений. Подтверждена адекватность вычислительного эксперимента.

Abstract: The process of clogging the pores of the filter baffle, as a process formally analogous to the processes with the structural restructuring of the original system. The induction period, the rate of nucleation and growth of clogging pores "plaques" were determined. The adequacy of the computational experiment was confirmed.

Ключевые слова: фильтрация, закупоривание пор, процессы со структурной перестройкой системы, неравновесная термодинамика.

Keywords: filtration, pore plugging, nucleation and growth rates, processes with the restructuring of the original system.

Фильтрация суспензий – широко распространенным процессом, на заводах химической и родственных ей отраслей промышленности [1-3]. В зависимости от размера частицы могут не только задерживаться на поверхности, перекрывая вход в поры фильтровальной перегородки или намывного слоя, но и проходить сквозь неё, двигаясь с потоком фильтрата по каналу пор. Проникшие в поры частицы могут откладываться на стенках, накапливаться там, со временем перекрывая живое сечение каналов, увеличивая сопротивления перегородки. Снизить влияние закупоривания пор на динамику процесса фильтрации сложнее, чем влияние отложений осадка на поверхности фильтровальной перегородки [1-3], поэтому требуется описание механизма данного процесса.

Состояние системы в виде частиц, находящихся в суспензии, и сплошной фазы, обладающей известными свойствами, назовем начальным состоянием системы. Состояние системы с уже отложившимися на стенках фильтра частицами, обладающей другими свойствами, назовем конечным [4]. Имея два состояния одной системы и рассматривая превращения в ней (перестройку структуры) за счет зарождения и роста центров отложения осадка на стенках пор, проводим формальную аналогию процесса фильтрации с закупориванием пор с такими процессами со структурной перестройкой системы (фазовым превращением), как кристаллизация, сублимация и другие. Под фазами подразумеваются состояния, рассматриваемой системы, отличающиеся друг от друга строением, энергией, физико-механическими свойствами и другими параметрами [4].

Выразим поток фильтрата, как массовый поток твердых частиц в единицу времени через единицу поверхности фильтра, кг/(м²·с):

$$q_n = \frac{\rho_n C}{S} \frac{V_n}{\tau_{инд}} \quad (1)$$

– до момента появления первой «бляшки», перекрывающей канал фильтровальной перегородки ($\tau_{инд}$);

$$q = \frac{\rho_n C V}{S \tau} \quad (2)$$

– после образования и роста центров отложений,

где V_n , V – объем фильтрата до и после образования первого отложения в порах, м³; $\tau_{инд}$, τ – время фильтрации до и после образования первого отложения в порах, с; S – площадь фильтрации, м²; C – концентрация твердых частиц в фильтруемой суспензии, м³тв/м³; ρ – плотность фильтруемой суспензии, кг/м³.

Динамику закупоривания пор можно выразить, как степень превращения η «старой» фазы в «новую», которая будет зависеть от скорости зарождения ω_3 и линейной скорости роста v_n центров превращения (отложений, закупоривающих поры) [4]. Эти скорости зависят от разности давлений ΔP , создаваемой в системе на фильтровальной перегородке, и концентрации твердых частиц в суспензии C :

$$\eta = 1 - \frac{q}{q_n} = 1 - \frac{A_c C + A_p \Delta P}{q_n} = 1 - \exp\left(-\beta \frac{1}{n+1} \omega_3 v_n^n \tau^{n+1}\right) \quad (3)$$

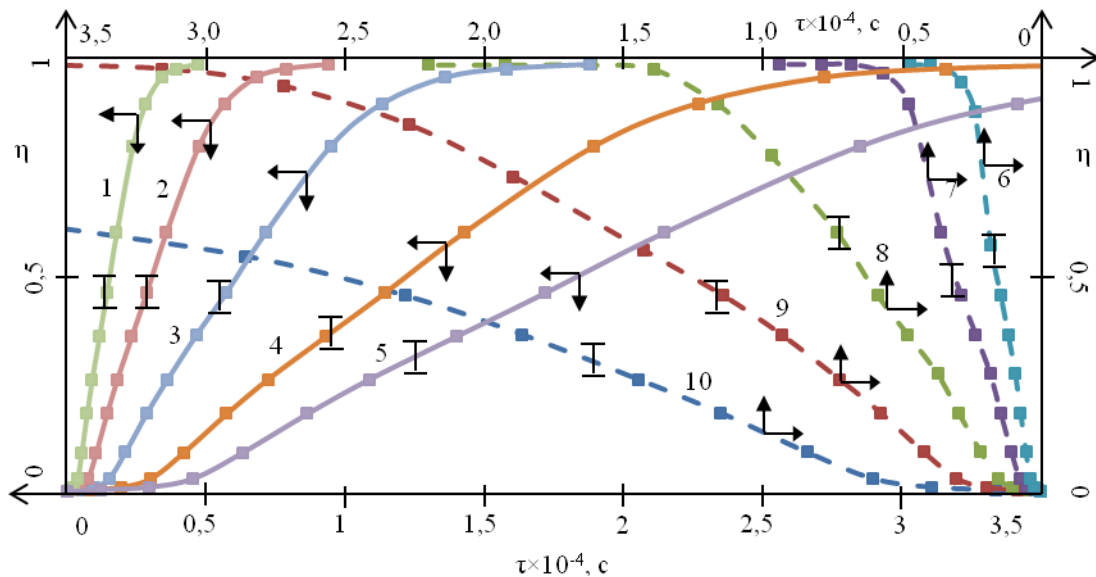
где ΔP – перепад давления на фильтровальной перегородке, Па; A_c , A_p – коэффициент переноса массы за счет концентрации твердых частиц в фильтруемой суспензии и перепада давлений на фильтровальной перегородке, соответственно, (кг·м³)/(м³ тв·с) и кг/(Па·с); ω_3 – скорость зарождения, 1/(м³·с); v_n – скорость линейного роста, м/с; β – фактор формы; n – фактор роста.

Физический эксперимент проводили на промышленных образцах неорганической природы. Фильтровали конверсионный раствор аммиачной селитры, полученный при азотнокислотом разложении фосфоритов, с различным содержанием частиц карбоната кальция (конверсионного мела). В опытах фиксировали изменение объема фильтрата во времени при

различных значениях движущих сил: разности давления ΔP , создаваемого в системе при $C = \text{const}$ и концентрации твердых частиц в суспензии C при $\Delta P = \text{const}$.

В начале процесса наблюдается постоянная скорость фильтрации, этот период, называемый индукционным $\tau_{\text{инд}}$, свидетельствует об отсутствии зарождения центров отложений. Дальнейшее уменьшение скорости говорит о возникновении и росте зародышей отложений, препятствующих прохождению фильтрата через поры фильтровальной перегородки.

По зависимости степени превращения от времени при различных значениях движущих сил (рис.1) можно сделать вывод, что с ростом перепада давления в системе поры закупориваются быстрее, так как поток суспензии увеличивается, а с ним и количество мелких твердых частичек, которые могут пройти через фильтр; такая же картина наблюдается и с ростом концентрации твердых частиц. Отсюда следует, что степень превращения (3) может быть выражена через сумму удельных потоков, вызванных движущими силами, а также, через уравнение Колмогорова-Аврами [5], что позволяет установить связь движущих сил процесса фильтрования и скоростей зарождения и роста отложений.



При различных концентрациях твердых частиц в суспензии и постоянной разности давлений

$\Delta P = 9,8 \pm 0,98$ кПа (сплошная линия):

1 – $0,08 \text{ м}^3\text{тв}/\text{м}^3$; 2 – $0,04 \text{ м}^3\text{тв}/\text{м}^3$; 3 – $0,02 \text{ м}^3\text{тв}/\text{м}^3$; 4 – $0,01 \text{ м}^3\text{тв}/\text{м}^3$; 5 – $0,005 \text{ м}^3\text{тв}/\text{м}^3$;

при различных разностях давлений в системе и концентрации твердых частиц

$C = 0,02 \pm 0,002 \text{ м}^3 \text{ тв}/\text{м}^3$ (штриховая линия):

6 – 39,2 кПа; 7 – 19,6 кПа; 8 – 9,8 кПа; 9 – 4,9 кПа; 10 – 2,45 кПа.

Рисунок 1 – Степень превращения от времени для конверсионного мела

Если условно выразить степень превращения через зависимость только от перепада давлений, а концентрацию твердых частиц в суспензии принять постоянной, тогда можно определить зависимость скоростей зарождения и роста от одной движущей силы $\omega_s = f(\Delta P)$ и $v_d = f(\Delta P)$ (рисунок 2):

$$\eta = 1 - \Delta P \frac{(A_c \frac{C}{\Delta P} + A_p)}{q_n} = 1 - \exp\left(-\beta \frac{1}{n+1} \omega_s v_d^n \tau^{n+1}\right) \quad (4)$$

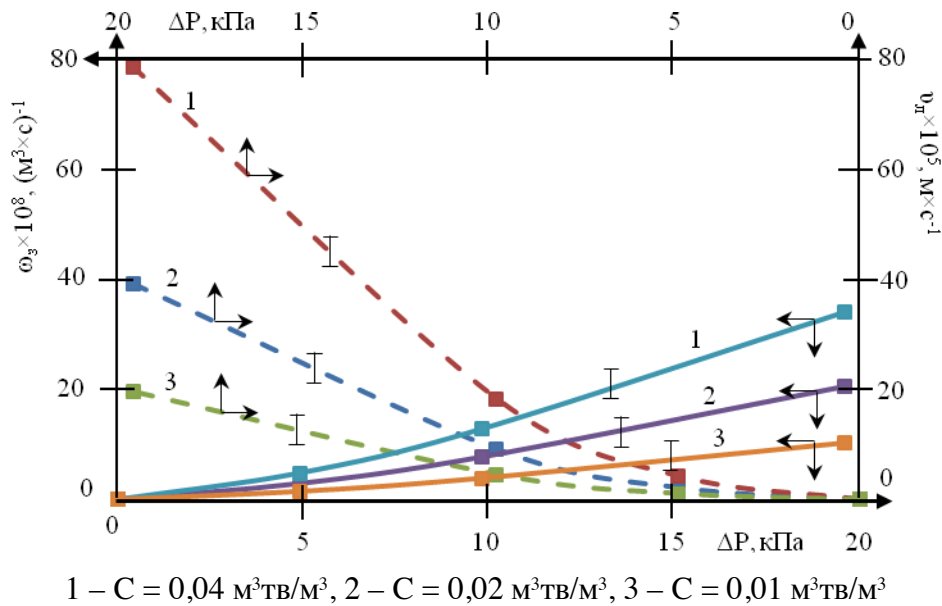


Рисунок 2 – Зависимость скорости роста центров новой фазы (сплошная линия) и скорости зарождения центров новой фазы (штриховая линия) от разности давлений в системе при постоянных значениях концентраций для конверсионного мела.

Выводы

В работе изучена кинетика процесса закупоривания пор фильтровальной перегородки и показана формальная аналогия этого процесса с процессами со структурной перестройкой исходной системы. Определены скорости роста отложений на стенках пор фильтра. Показано влияние концентрации твердых частиц суспензии и давления в системе на динамику процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жужиков В.А. Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий. М.: Химия, 1971. 440 с.;
2. Федосов С.В., Осадчий Ю.П., Маркелов А.В., Теленов А.Т. Исследование механизма закупоривания пор полимерных мембран // Международный научно-исследовательский журнал, 2015. Вып. № 1–3 (32). С. 18–20;
3. Самохвалов Н.М., Скачков Е.В., Сенотова С.А. Моделирование процесса фильтрования с закупориванием пор // Вестник ИрГТУ. 2009. №2 (38). С. 181–185;
4. Таран Ю.А., Таран А.В. Под общей редакцией Тарана А.Л. Теория и практика изучения кинетики фазовых и формально аналогичных им превращений. Монография. М.: Московский технологический университет (МИРЭА), 2016. 246 с. ISBN 978-5-600-01695-8;
5. Колмогоров А.Н. К статической теории кристаллизации металлов // Изв. АН СССР, сер. Математическая, 1937, вып. 3, С. 355-359.

УДК 622.245.422

**РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ТАМПОНАЖНОЙ
СМЕСИ НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ**
**DEVELOPMENT OF RESOURCE-SAVING HIGH-STRENGTH SLURRY MIXTURE
BASED ON LOCAL RAW MATERIALS**

Шерали Халлокович Умедов*, **Бахшилло Шафиевич Акрамов****,
Анвар Балтабаевич Ешмуратов*, **Толиб Олимович Комилов***
Sherali Kh. Umedov*, **Bakhshillo S. Akramov****, **Anvar B. Yeshmuratov***, **Tolib O. Komilov***

**Ташкентский Государственный Технический Университет им. Ислама Каримова,
Узбекистан, Ташкент*

**Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Uzbekistan, Tashkent
(e-mail: umedov.sherali@mail.ru)*

***Филиал РГУ Нефти и газа им. И.М. Губкина в г. Ташкенте, Узбекистан, Ташкент*

***Branch of the Russian State University of oil and gas named after I.M.Gubkin in Tashkent,
Uzbekistan, Tashkent
(e-mail: akramov_bahsh@mail.ru)*

Аннотация: Проведены результаты лабораторных испытаний по улучшению реологических, технологических свойств эффективного тампонажного раствора на основе отсева порфиритового порошка из местного сырья для цементирования обсадных колонн.

Abstract: Therefore, laboratory researching works are conducted on taking resultative tamponage solution by the base of porfirit powder, which is used oh cementing of rows and improving its reologic, technological peculiarities, and research results are given in the article.

Ключевые слова: тампонажный раствор, цементный камень, прочность, плотность, порфирит, наполнитель.

Key words: cement slurry, cement stone, strength, density, porfirit, filler.

В строительстве подземных сооружений при инженерно-геологических работах часто возникает необходимость заполнения твердым материалом пустот, недоступных для непосредственной заделки, засыпки, закладки. Если в такие пустоты можно закачать жидкость, то их можно заполнить затвердевающими жидкостями с помощью особого технологического процесса - тампонирувания. Этот процесс в строительстве скважин получил название тампонажное цементирование.

В соответствии с широкой областью применения и различным назначением имеется много видов и составов тампонажных материалов. Наиболее широко используют их в строительстве нефтяных, газовых и глубоких геологоразведочных скважин, а именно в технологическом процессе их цементирования.

В связи с горно-геологическими условиями строительства подземных сооружений, требования к методам применения тампонажных материалов различны. Предусмотреть все случаи и условия использования тампонажных материалов невозможно, поэтому главным требованием к тампонажным материалам является возможность регулирования их свойств в достаточно широких пределах. Свойства тампонажных материалов изменяются в зависимости от состава, условий формирования структуры раствора камня и условий работы камня. Поэтому необходимо использовать составы тампонажных материалов в зависимости от конкретной ситуации и условий [3,4].

Крепление скважин обсадными колоннами каждого интервала, указанного в геологическом наряде на бурение – это обязательное условие успешной проводки скважины до проектной глубины. Очень много примеров, когда из-за того, что часть разреза скважины остается не перекрытой обсадными трубами, вследствие недохождения их до намеченной глубины, происходили сложные аварии (прихват, слом инструмента) и геологические

осложнения (обвалы, уходы бурового раствора, сужение ствола и т.д.). Проводка скважин с такими осложнениями приводит к повышенным расходам химических реагентов и бурового раствора. Все это в значительной мере увеличивает непроизводительные затраты и общую стоимость скважины.

Недохождение обсадных колонн до намеченных глубин объясняется недостаточным качеством ствола скважины. Низ бурильной колонны не всегда обеспечивается соответствующей компоновкой. В таких стволах колонна обсадных труб часто не проходит до нужной глубины и при проталкивании вниз заклинивается. Это приводит к вынужденному цементированию колонн, неполностью перекрывших требуемый интервал. Поэтому очень важно обеспечить качество ствола в процессе бурения и подготовку его перед спуском обсадных колонн.

Применяемая в настоящее время технология тампонирувания не всегда приводит к желаемым эффектам и не обеспечивает качественное цементирование обсадных колонн и надежность крепления осложненных зон, в особенности, в глубоких нефтяных и газовых скважинах.

При бурении нефтяных и газовых скважин происходит ряд осложнений: поглощение бурового раствора, возникновение газонефтеводопроявлений (ГНВП), осыпи, обвалы и т.п. В этой связи одной из актуальных задач является ликвидация осложнений с применением качественных, высокоэффективных и прочных тампонажных смесей [1,6].

Исследование условий, вызывающих течение растворов в трещинах горных пород, влияние на движение и устойчивость тампонажного состава, перепадов давления в системе пласт-скважина, возникающих при выполнении отдельных технологических операций в бурении, является предпосылкой к активному воздействию на процессы в нужном направлении.

Цементирование обсадных колонн в скважинах является заключительным, весьма ответственным этапом их строительства. От качества цементирования зависят получение достоверной геолого-технической информации о пласте, долговечность и безаварийная работа скважины. Некачественное разобщение пластов приводит к межпластовым перетокам флюидов, затрубным нефтегазоводопроявлениям, коррозии и смятию обсадных колонн. Высокое качество цементирования скважин определяют, в основном, следующие факторы:

- соответствие состава и свойства тампонажного раствора условиям цементирования;
- выбор оптимальной технологии цементирования (режим закачки и продавливания тампонажного раствора, наличие разделительных жидкостей и пробок), центрирование обсадной колонны в скважине и т.д.

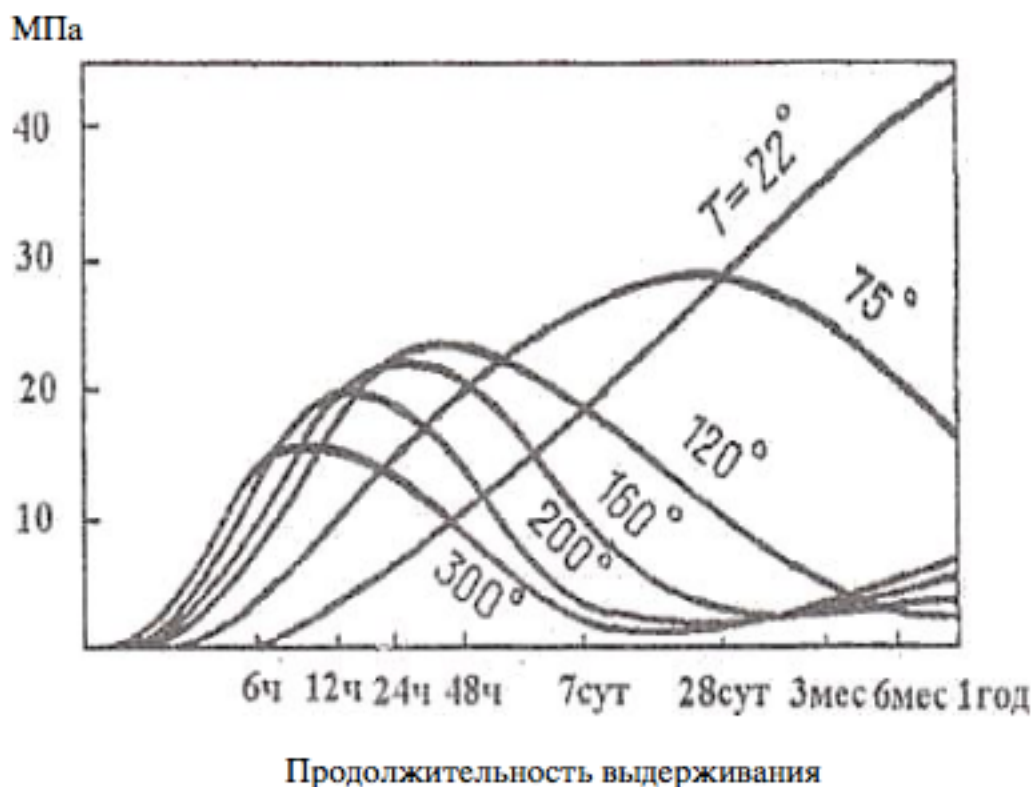
При соблюдении указанных требований для обеспечения необходимого уровня разобщения пластов важны состав и свойства тампонажного раствора.[2]

Рациональное и эффективное использование местных и вторичных сырьевых ресурсов, располагаемых республикой Узбекистан для вышеуказанных целей, открывает широкие возможности организации производства новых высокоэффективных и высокопрочных тампонажных смесей, приводит к значительному улучшению технико-экономических показателей и обеспечению потребностей к тампонажным смесям при эксплуатации нефтяных и газовых скважин.

Прочность цементного камня не стабильна во времени, особенно в условиях повышенных температур. На рис. 1 приведены характерные кривые изменения прочности цементного камня во времени при различных температурах окружающей среды. Эти кривые построены по результатам исследований длительного времени твердения цементного камня при различных температуре и давлении(табл 1.).

Таблица 1-Прочность цементного камня при различной температуре твердения

| Температура, °С | Предел прочности при изгибе, МПа, через | | | | | |
|-----------------|---|--------|---------|--------|--------|-------|
| | 2 сут. | 7 сут. | 28 сут. | 3 мес. | 6 мес. | 1 год |
| 22 | 2,9 | 4,6 | 6,6 | 10,8 | 11Д | 11,0 |
| 75 | 6,3 | 6,9 | 8,4 | 10,1 | 7,7 | 6,4 |
| 22 | 3,0 | 5,1 | 6,9 | 10,6 | 9,7 | 9,6 |
| 75 | 5,5 | 6,3 | 7,8 | 8,1 | 6,0 | 4,8 |

**Рисунок 1 – Кривые изменения прочности камня затвердевшего портландцемента во времени при различных условиях твердения**

В зависимости от минералогического состава, тонкости помола, исходного водосодержания суспензии кинетика роста прочности цементного камня до максимальной величины, максимальная его прочность, момент начала снижения прочности, кинетика снижения прочности изменяются в довольно широких пределах. Однако для всех портландцементов характерны общие процессы и явления[5].

Считается, что недопустимо быстрое снижение прочности цементного камня происходит при температуре выше 110-120 °С. Однако у большинства затвердевших портландцементных растворов снижение прочности наблюдается уже после 3-6 месяцев твердения при температуре выше 60 °С.

Нами был разработан высокоэффективный состав тампонажных растворов, обеспечивающий необходимую плотность и прочность с улучшенными реологическими и технологическими свойствами, при одновременном сохранении прочности камня, который имеет первостепенное значение в увеличении добычи нефти и газа.

При проведении лабораторных исследований была использована общепринятая методика со стандартными приборами. Смеси тампонажного портландцемента (ТПЦ) и отсева порошка порфирифта(ОПП) были приготовлены в различных пропорциях - 80:20:, 70:30:, 60:40:, 50:30:, 40:60:, 30:70:, 20:80 (таблица 2).

Указанные смеси затворялись обычной водой. Свойства нового состава тампонажного цемента с добавкой отсева порфиритового порошка (ОПП) изучались в комнатных условиях, а также в условиях высокой температуры и давления.

Таблица 2-Результаты изучения свойств тампонажного раствора с добавкой ОПП В/Ц=0,5

| № | ТПЦ, % | ОПП, % | Растекаемость, R | Плотность ρ , г/см ³ | Сроки схватывания | | Прочность, МПа |
|---|--------|--------|------------------|--------------------------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| | | | | | начало | конец | |
| 1 | 100 | - | 25,0 | 1,80 | 1 ²⁵ | 2 ¹⁰ | 3,8-4,2 |
| 2 | 80 | 20 | 24,0 | 1,75 | 1 ³⁵ | 2 ²⁰ | 4,3-4,8 |
| 3 | 70 | 30 | 23,5 | 1,72 | 1 ⁵⁰ | 2 ³⁵ | 4,8-5,2 |
| 4 | 60 | 40 | 23,0 | 1,66 | 2 ⁵ | 3 ¹⁰ | 5,2-5,8 |
| 5 | 50 | 50 | 22,5 | 1,68 | 2 ¹⁵ | 3 ²⁰ | 5,8-6,4 |
| 6 | 40 | 60 | 22,0 | 1,66 | 2 ³⁰ | 3 ³⁵ | 6,4-7,0 |
| 7 | 30 | 70 | 21,0 | 1,62 | 2 ⁴⁵ | 3 ⁴⁵ | 6,2-7,6 |
| 8 | 20 | 80 | 20,05 | 1,60 | 2 ⁵⁵ | 2 ¹⁰ | 7,6-8,2 |

Анализ результатов испытаний показывает, что с увеличением доли отсева дробления порфирита в цементном растворе плотность его уменьшается при содержании ОПП в количестве 30 - 40%, плотность составила от 1700-1660 кг/м³, причем растекаемость тампонажного раствора во всех случаях оставалась в пределах 24-22 см².

Из результатов исследований составов ПИТ: ОПП-70: 30: 60: 40: имеет водоцементное отношение 0,5, что находится в пределах допустимого отношения водопотребности в вяжущих веществах.

Как видно из приведенных лабораторных исследований, применение ОПП повышает прочность цементного камня.

Проведенными лабораторными исследованиями получены высокие прочные тампонажные смеси на основе ОПП, которые имеют вполне приемлемые реологические и технологические параметры, что позволяет рекомендовать их для качественного цементирования обсадных колонн (рис. 2).

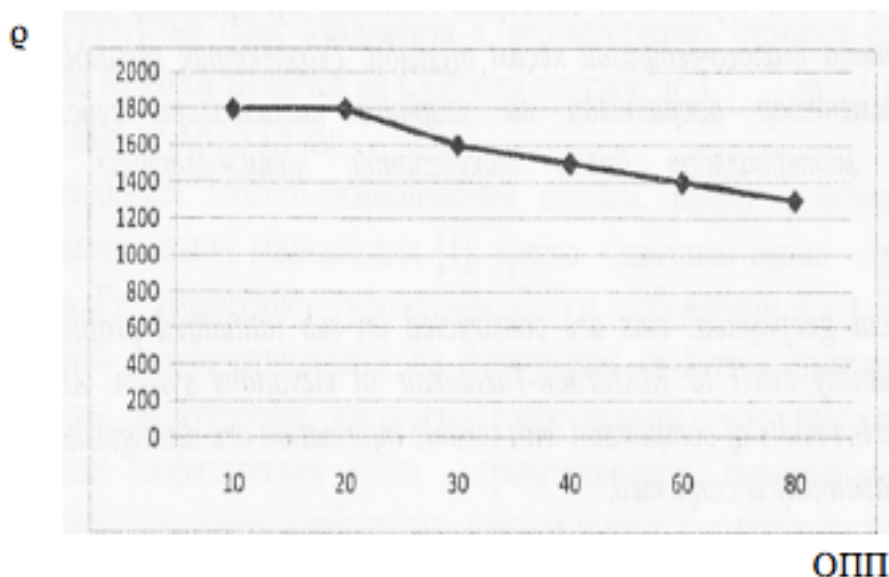


Рисунок 2-Зависимость плотности от содержания в цементе отсева порошка

Экспериментально показано, что ОПП заметно повышает физико-механические свойства цементного камня и их устойчивость к действию агрессивных сред.

По результатам проведенных исследований выявлена оптимальная доза наполнителей, при которой достигаются наилучшие показатели физико-механических свойств тампонажных смесей.

Разработан ряд рецептур тампонажных растворов на основе ОПП, характеризующихся доступностью, низкой себестоимостью и эффективностью и технические условия на получение тампонажных смесей, предназначенных при цементировании обсадных колонн.

Выводы

Приведены результаты экспериментальных исследований по разработке высокоэффективного состава тампонажных растворов, обеспечивающих необходимую плотность и прочность с улучшенными реологическими и технологическими свойствами при одновременном сохранении прочности камня, позволяющие рекомендовать их для качественного цементирования обсадных колонн скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов А.И. Правда о тампонажных цементах: Исследование и практика применения в 2-х т. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2010. – Т. 1. – 1012с.

2. Умедов Ш.Х., Санетуллаев Е.Е., Комилов Т.О. Исследование микроструктуры эффективной промывочной жидкости с применением электронного микроскопа Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2018. – №4. – С. 210–215.

3. Махаматхожаев Д.Р. Состав тампонажного раствора с повышенной стабильностью закупоривающей способностью. Вестник ТашГТУ, №1, 2015-С 164-169.

4. Умедов Ш.Х., Рахимов А.К., Муртазаев А. Влияние состава тампонажного раствора на качество цементирования скважин. «Узбекский журнал нефти и газа», Ташкент -2001. - №2. – С.19-22.

5. Makhamatkhodjaev D.R. The drilling fluid for the dissection of salt deposits under movement of highly mineralized formation water. «Austrian Journal of Technical and Natural Sciences», №4, Austria-2016.

6. Умедов Ш.Х., Рахимов А.К. Качество цементирования – залог успешности разведочных работ и разработки месторождений. Материалы II Международной научно-практической конференции «Булатовские чтения». Сборник статей – 2018.– г. Москва. – С. 230-231.

УДК 534:621.317.7

**КАВИТАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЧЕРЕЗ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ СРЕДЫ:
СПОСОБЫ РЕАЛИЗАЦИИ И АППАРАТНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ
CAVITATION IMPACT THROUGH INTERMEDIATE ENVIRONMENTS:
IMPLEMENTATION METHODS AND HARDWARE DECORATION**

**Владимир Николаевич Хмелёв*, Сергей Николаевич Цыганок*, Евгений Владимирович
Ильченко**, Владислав Анатольевич Шакура**, Максим Владимирович Хмелёв**
Vladimir N. Khmelev*, Sergey N. Tsyganok*, Eugene V. Ilchenko**, Vladislav A. Shakura**,
Maxim V. Khmelev****

**Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова», Россия, Бийск*

**Biysk Technological Institute (branch) of Altai State Technical University I.I. Polzunova,
Russia, Biysk
(e-mail: grey@bti.secna.ru)*

***ООО «Центр ультразвуковых технологий», Россия, Бийск
**Ultrasound Technology Center LLC, Russia, Biysk
(e-mail: maxx@u-sonic.ru)*

Аннотация: Рассмотрены особенности ультразвукового кавитационного воздействия при интенсификации тепло - и массообменных процессов без реализации непосредственного контакта ультразвукового излучателя и обрабатываемой среды. Показана возможность реализации кавитационных режимов обработки при различных бесконтактных способах воздействия и предложена их аппаратурная реализация.

Abstract: The features of the ultrasonic cavitation effect during the intensification of heat and mass transfer processes without the implementation of direct contact of the ultrasonic emitter and the treated medium are considered. The possibility of implementing cavitation processing modes with various contactless methods of influence is shown and their hardware implementation is proposed.

Ключевые слова: ультразвуковое воздействие, кавитационное воздействие, лабораторное ультразвуковое оборудование.

Keywords: ultrasonic treatment, cavitation treatment, laboratory ultrasound equipment.

Воздействие ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности на различные технологические дисперсионные среды с преимущественно жидкой фазой позволяет существенно увеличивать скорость реализуемых процессов, повышать качество производимой продукции и получать материалы с новыми уникальными свойствами [1,2]. Максимальная эффективность ультразвукового воздействия обеспечивается при создании в обрабатываемых средах кавитации – процесса возникновения и взрыва кавитационных пузырьков.

Однако, при реализации кавитационного воздействия происходит кавитационное разрушение излучающей поверхности рабочего инструмента ультразвукового аппарата. Причем чем интенсивность воздействия выше, тем больше кавитационный износ.

Так как рабочий инструмент ультразвукового аппарата выполнен из титанового сплава, то в большинстве случаев продукты кавитационного износа химически нейтральны по отношению к обрабатываемым материалам. Но во многих случаях введение инородного материала существенно меняет качество и свойства конечного продукта [3].

Кроме того, в ряде случаев, требуется ультразвуковое воздействие, исключающее наличие контакта стерильной обрабатываемой среды с материалом рабочего инструмента.

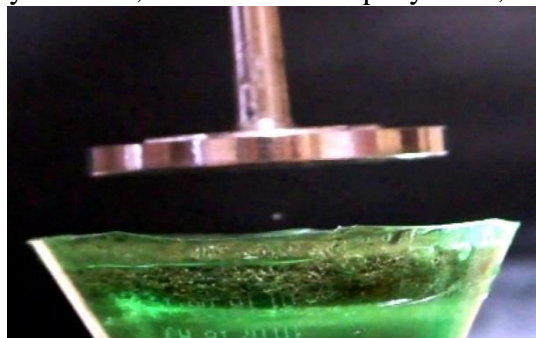
Особенно это важно при ультразвуковой кавитационной обработке химически или биологически чистых веществ [4, 5].

Таким образом, наличие физического контакта излучателя с обрабатываемой средой исключает возможность реализации в таких случаях ультразвукового воздействия.

В связи с этим возникла необходимость в разработке и практическом применении способов ультразвукового воздействия, при которых в обрабатываемых жидкостях создается кавитационный процесс, а излучатель и продукты кавитационного износа излучающей поверхности не попадают в обрабатываемую технологическую среду.

Практически, такая разработка требует создания условий изоляции рабочего инструмента ультразвукового аппарата от обрабатываемой среды при создании в ней кавитации. Конструктивно это может быть достигнуто только за счет использования промежуточной звукопроводящей среды, способной отделить излучатель физически и передать колебания в обрабатываемую среду.

На рисунке 1,а проиллюстрирован простейший способ передачи энергии ультразвуковых колебаний через газовые промежутки (воздушную среду) и приведен результат создания кавитационного воздействия при фокусировании акустических колебаний. Уровень ультразвукового давления при этом достигал 120 дБ на частоте 22 кГц. Бесконтактное ультразвуковое воздействие осуществляется путем использования специализированного аппарата серии «Соловей» модель УЗАГС-0,1/22-О с дисковым излучателем, показанного на рисунке 1,б.



а)



б)

Рисунок 1 – Бесконтактный метод создания кавитации в жидкости и ультразвуковой аппарат серии «Соловей» модель УЗАГС-0,1/22-О.

Представленный способ УЗ воздействия применяется при бесконтактном распылении, при сушке покрытий и при дистантной ультразвуковой экстракции модельной жидкости из капиллярно-пористой модели раневой ткани за счёт реализации «обратного» ультразвукового капиллярного эффекта при её озвучивании излучающим диском волновода-инструмента на расстоянии кратном длине волны (область порядка $1/8 \lambda$) [6].

На рисунке 2,а представлен ультразвуковой аппарат, в котором кавитационное воздействие создается в промежуточной жидкой среде, находящейся между рабочим инструментом ультразвуковой колебательной системы и тонкой стенкой внешнего объема. Создаваемые излучателем колебания и схлопывающиеся воздушные пузырьки создают излучение и кавитационный шум широкого спектра и приводят в колебательные движения стенки внешнего объема. Они становятся источником колебаний для обрабатываемой среды, в которую помещается внешний объем с ультразвуковой колебательной системой. Такой аппарат позволяет уменьшить прямое кавитационное воздействие на одной частоте при условии существенного расширения многочастотного воздействия на обрабатываемые среды.



Рисунок 2 – Ультразвуковой аппарат серии «Волна-М» модель УЗТА-1/22-ОМ.

На рисунке 2,б приведен результат ультразвукового разделения эмульсии моторного масла SAE5W40 на составляющие при широкополосном кавитационном воздействии без непосредственного контакта излучателя со средой. В результате такого воздействия было выделено до 60% воды из эмульсии. По истечении 7-ми суток дальнейшего расслоения эмульсии не произошло [7].

На рисунке 3 представлен ультразвуковой аппарат, реализующий еще один метод воздействия, при котором кавитационное воздействие создается также в промежуточной жидкой среде, однако она находится между полым трубчатым рабочим инструментом ультразвуковой колебательной системы и пробиркой (или герметичным, стерильным объемом нужного размера и формы). При применении такого аппарата обрабатываемая технологическая среда размещается в пробирке. Кавитационное воздействие на среду в пробирке осуществляется фокусирующимися колебаниями внутренней цилиндрической поверхности полого рабочего инструмента, создающими кавитацию в жидкой фазе внутри пробирки.



Рисунок 3 – Ультразвуковой аппарат серии «Волна-Л» модель УЗТА-0,63/22-ОЛ.

Доказательство наличия кавитации внутри пробирки при таком воздействии иллюстрируется серией экспериментов по получению эмульсии пихтового масла (рисунок 4).

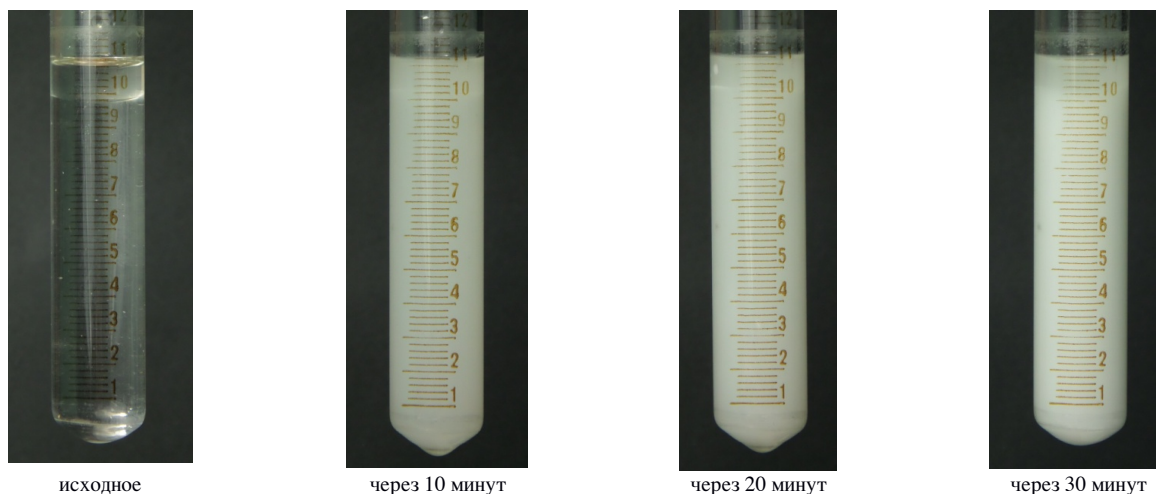


Рисунок 4 – Получение эмульсии пихтового масла.

Наличие прямой эмульсии в обрабатываемой среде свидетельствует о кавитационном воздействии в ней.

Выводы

Предложены различные варианты ультразвукового воздействия на обрабатываемые технологические среды без непосредственного контакта излучателя ультразвуковых колебаний с этими средами.

В ходе проведенных исследований подтверждена возможность реализации кавитационных процессов при ультразвуковом воздействии через промежуточные среды.

Для практического обеспечения ультразвукового воздействия через промежуточные среды при интенсификации различных тепло- и массообменных процессов предложены и реализованы специализированные ультразвуковые аппараты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Барсуков Р.В., Сливин А.Н., Цыганок С.Н. Применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности в промышленности. – Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 200 с.
2. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Хмелев С.С., Цыганок С.Н. Ультразвук. Аппараты и технологии. – Барнаул: АлтГТУ, 2015. – 688 с.
3. Толочко Н.К., Корко В.С., Челединов А.Н. Особенности развития кавитации и эффективность очистных процессов в ультразвуковой ванне // Агропанорама. – 2016. – № 6. – С. 30-34.
4. Молчанов Г.И. Фармацевтические технологии: современные электротехнические биотехнологии в фармации: Учебное пособие / Г.И. Молчанов, Ю.А. Морозов. – М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2009. – 336 с.
5. Эльпинер Е.И. Биофизика ультразвука. – М.: Наука, 1973. – 384 с.
6. Педдер В.В., Хмелёв В.Н., Голых Р.Н., Солдатов А.И., Шалунов А.В., Педдер А.В., Пастушенко И.А., Нестеров В.А., Барсуков Р.В., Набока М.В., Цыганок С.Н., Стафеев А.П. Вклад "обратного" ультразвукового капиллярного эффекта в массообменные процессы гетерогенной системы раневого очага у больных с осложнённой послеоперационной раной // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП-2018) Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. 2018. С. 398-417.
7. Хмелев В.Н., Кузовников Ю.М., Цыганок С.Н. Исследование влияния ультразвукового воздействия на процесс разделения устойчивых эмульсий // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: межвузовский сборник / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Вып. 1. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2011. – С. 175–177.

УДК 687.053.5

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕРВОПРИВОДОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ШВЕЙНЫХ МАШИН**
**ENERGY-SAVING AT THE ENTERPRISES OF THE LIGHT INDUSTRY USING SERVO
DRIVES FOR INDUSTRIAL SEWING MACHINES**

**Люция Габдулхаковна Хисамиева, Екатерина Юрьевна Семенова,
Юлия Николаевна Карандашова, Ильнур Наильевич Садыков**
Lucia G. Khisamieva, Ekaterina Y. Semenova, Julia N. Karandashova, Ilnur N. Sadykov

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Россия, Казань*

Kazan National Research Technological University, Russia, Kazan

E-mail: juka-kar@mail.ru, sadykov1801@mail.ru, lg-kgtu@mail.ru, nika120386@mail.ru

Аннотация: Рассмотрены особенности применения сервоприводов для промышленных швейных машин на предприятиях легкой промышленности, показаны их преимущества. Представлены расчеты по энергозатратам разных приводов.

Abstract: The features of the use of servo drives for industrial sewing machines at light industry enterprises are considered, their advantages are shown. Presents calculations for the energy consumption of different drives.

Ключевые слова: Ресурсосбережение, энергосбережение, сервоприводы, приводы с фрикционной муфтой, преимущества.

Keywords: Resource saving, energy saving, servo drives, drives with a friction clutch, advantages.

Рациональное использование ресурсов предприятия, помимо экономии трудовых и материальных ресурсов, предполагает рациональное использование энергии, потребляемой на производстве. Многие предприятия легкой промышленности все чаще отказываются от традиционного использования швейных машин, укомплектованных электроприводами с фрикционными муфтами в пользу современных, энергосберегающих сервоприводов.

Переход на энергосберегающие приводы обуславливается рядом принципиальных недостатков приводов с фрикционными муфтами. Во-первых, ротор в нем вращается постоянно, т.е. имеет место постоянный расход электроэнергии. Во-вторых, скорость выходного вала не имеет однозначной зависимости от усилия нажима на педаль швейной машины: она изменяется от переменной внешней нагрузки, износа и нагрева фрикционных накладок. В-третьих, к значительным недостаткам можно отнести наличие довольно значительных уровней шума, вибрации и большие габариты привода.

Современные фирмы, занимающиеся совершенствованием швейного оборудования, предлагают замену фрикционным муфтам - использование энергосберегающих сервоприводов, как для швейных машин, так и для оверлоков. Их использование приводит к энергосбережению на предприятиях легкой промышленности.

К примеру, фирма «Gemsy» выпускает линии электронных энергосберегающих сервоприводов для промышленного швейного оборудования. К настоящему времени разработано несколько линий таких приводов, которые различаются по конструкции, мощности и частоте вращения [1].

Мотор серии GEM 522 фирмы «Gemsy» (рисунок 1) значительно меньше по габаритам фрикционных аналогов. Он снабжен большим кожухом, из которого выходят только шкив и рычаг задатчика скорости [2]. На передней панели кожуха расположен двухразрядный дисплей и две тактильные кнопки. Этими средствами наладчик может отрегулировать мотор

под свои задачи, а именно, установить направление вращения выходного вала, установить максимальную скорость вращения от 100 до 4000 об/мин с шагом 100 об/мин, и, наконец, ввести задержку в наборе заданной скорости.



Рисунок 1 – Сервомотор для швейных машин GEM 522 (600W)

Необходимо отметить главное достоинство электронного сервомотора. Он включается и работает только во время эксплуатации. Это означает, что и электроэнергию он потребляет практически только во время работы швейной машины. Известно, что машинное время в общем времени выполнения швейной операции составляет 15-20 %. Более того, если работник отошел от рабочего места, не выключив электропривод, непроизводительный расход электроэнергии возрастает еще сильнее. В случае использования электронного мотора, несмотря на его повышенную мощность, экономится до 60-80 % электроэнергии.

Мотор работает в однофазной сети при широком разбросе напряжения. Это означает, что швейные машины с таким мотором могут легко применяться там, где нет силовой сети трехфазного тока. Его можно включить в штепсельную розетку. Этим он одинаково интересен как для крупных производств, так и для небольших швейных мастерских.

Необходимо также отметить, что электронный сервомотор дороже привода с фрикционными муфтами всего в полтора раза. На средней операции он позволяет экономить при действующих в России тарифах 10 рублей в смену. За год экономия при односменной работе швейного предприятия составит 2500 рублей, то есть он окупит себя менее, чем за год, и затем начнет приносить чистую прибыль. Ниже в таблице 1 представлены расчеты по энергозатратам разных видов приводов к промышленным швейным машинам Turical 8160 на примере швейного потока по изготовлению мужского башкирского костюма.

Таблица 1 – Расчет по энергозатратам различных приводов

| Технико-экономические показатели | Вид привода швейной машины | |
|--|----------------------------|-------------|
| | с муфтой | сервопривод |
| Скорость, об/мин | 2850 | 3500 |
| Мощность потока, изд | 250 | 250 |
| Оперативное время работы на изделие, с | 3640 | 3640 |
| Продолжительность смены, с | 28800 | 28800 |
| Энергопотребление кВт/ч (на изделие) | 0,404 | 0,39 |
| Стоимость электроэнергии, руб./изд. | 1,17 | 1,13 |
| Стоимость электроэнергии, руб./поток | 292,5 | 282,5 |

В соответствии с расчетами по энергозатратам, на предприятии, имеющем, например, 100 швейных машин, снабженных энергосберегающими сервоприводами, через один год можно получать ежегодную экономию 250 тысяч рублей.

Сервопривод может быть встроен в головку швейной промышленной машины или оверлока, а может быть отдельной единицей. В качестве отдельной единицы сервопривод более рационален, так как существует множество сервоприводов с разными

характеристиками. При проектировании швейного потока и подборе необходимого швейного оборудования имеется возможность использовать сервоприводы с соответствующими характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башарин А.В., Постников Ю.В. Моделирование и расчет систем управления электроприводами на ЦВМ. Л.: ЛЭТИ, 1984.;
2. Интернет-магазин электроники <http://electronica.bashel.ru/?cat=4015>.

УДК 687.052

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГИБКО-ШАТУННЫХ РАСКРОЙНЫХ НОЖЕЙ STATIC CALCULATION FLEXIBLE ROD CUTTING KNIFES

Владимир Фатекович Абрамов, Николай Владимирович Степнов
Vladimir F. Abramov, Nikolay V. Stepnov

*Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва*
The Kosygin State University of Russia, Moscow
(e-mail: pr-mechanica@mail.ru)

Аннотация: Разработана методика расчета динамических реакций в сочленениях гибко-шатунного механизма ножа передвижных раскройных машин.

Abstract: The developed technique for calculating dynamic reactions in the joints of the flexible-connecting mechanism of the knife of mobile cutting machines is presented.

Ключевые слова: гибко-шатунный, раскройный нож, методика расчета реакций в шарнирах.

Keywords: flexible, cutting knife, method of calculation of reactions in hinges.

В современных раскройных машинах используют гибко-шатунные механизмы, в которых пластинчатый нож выполнен с шатуном механизма как одна деталь (рис. 1) [1]. Определенное усложнение конструкции ножа на этих машинах компенсируется упрощением конструкции и уменьшением массы самой машины. Такая конструкция раскройного механизма имеет меньшее число кинематических пар, отсутствует отдельный ползун, к которому крепится нож в обычных машинах, и направляющая для него.

Для оценки форм продольно-поперечного изгиба гибкой части ножа и определения параметров ножей, обеспечивающих устойчивость и долговечность их работы, проводят расчет динамических реакций в сочленениях гибко-шатунного механизма.

В соответствии с принятой методикой приближенного решения динамических реакций в сочленениях гибко-шатунного механизма определяются как геометрическая сумма статических реакций при поперечном изгибе шатуна и динамических реакций в обычном кривошипно-ползунном механизме с жесткими звеньями (рис.1). Ниже изложен расчет динамических реакций в условном гибко-шатунном механизме.

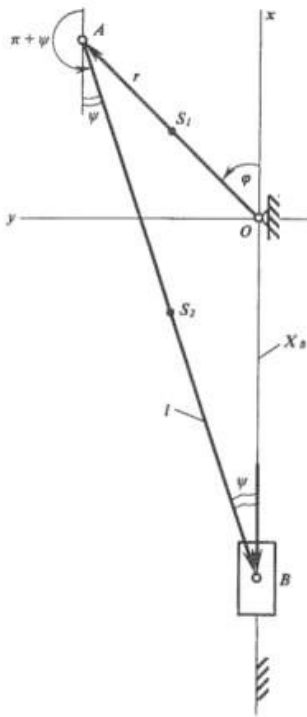


Рисунок 1 – Расчетная схема механизма.

Расчетная схема приведена на рис. 1. Здесь $OA = r$ – кривошип, $AB = \ell$ – шатун, $OB = xv = L$ – расстояние от оси, шатуна до направляющей, углы ϕ и ψ отсчитываются против часовой стрелки от оси x , $\phi = \omega t$, $\omega = \text{const}$. При этом $L = \text{const}$, $\ell = \ell(t)$, звенья считаются абсолютно жесткими. Определение реакций проведем методом кинестатики.

Используя метод замкнутого векторного многоугольника, принятый в ТММ [2], свяжем со звеньями рассматриваемого кривошипно-ползунного механизма направление отрезки-векторы. Тогда согласно рис. 1 будет:

$$\vec{r} + \vec{\ell} = \vec{x}_B, \quad (1)$$

Центр масс S делит длину звена в зависимости от однородности стержней на отрезки AS и OS , находящиеся в соотношении $AS = kOA$, где k – весовой коэффициент, AO – длина звена.

В рассматриваемом случае на первом этапе можно принять $k_i = 1$, для всех звеньев, тогда

$$\vec{\ell}_{s1} = \frac{1}{2} \cdot \vec{r}; \quad \vec{\ell}_{s2} = \vec{r} + \frac{1}{2} \cdot \vec{\ell}.$$

Соотношения между геометрическими параметрами схемы на рисунке 1 можно получить из векторного равенства (1), но в данном случае это проще сделать с

помощью известных теорем. По теореме косинусов из $\triangle AOB$ получаем:

$$\ell^2 = L^2 + r^2 - 2 \cdot L \cdot r \cdot \cos(\pi - \phi) = L^2 + r^2 + 2 \cdot L \cdot r \cdot \cos \phi.$$

Откуда

$$\ell = \sqrt{L^2 + r^2 + 2 \cdot L \cdot r \cdot \cos \phi}.$$

Нижний индекс i опускаем для сокращения записи. По теореме синусов будет

$$\frac{r}{\sin \psi} = \frac{\ell}{\sin(\pi - \phi)}; \quad \sin \psi = \frac{r}{\ell} \cdot \sin \phi. \quad (2)$$

Для применения метода кинестатики следует ввести в расчет главные векторы и главные моменты сил инерции:

$$\begin{aligned} \vec{R}_1'' &= -m_B \cdot \vec{a}_{s1}, & \vec{R}_2'' &= -m_2 \cdot \vec{a}_{s2}, \\ \vec{R}_3'' &= -m_B \cdot \vec{a}_B, & \vec{M}_{s2}'' &= -J_{s2} \cdot \psi, \end{aligned} \quad (3)$$

где m_1 – масса кривошипа; m_2 – масса условного шатуна; m_B – масса условного ползуна; J_{s2} – момент инерции шатуна около оси, проходящий через его центр масс S_2 перпендикулярно плоскости чертежа; \vec{a}_{s1} , \vec{a}_{s2} , \vec{a}_B – ускорения соответствующих точек.

Физически нож движется, и поэтому в расчетах надо рассматривать \vec{x}_B как некоторый переменный вектор, характеризующий движение условного ползуна с шарниром B . Задача решается приближенно, поэтому далее $\ell(\varphi) = \ell(t_i)$ трактуется нами как мгновенная расчетная длина условного шатуна, рассматриваемая как некоторая постоянная величина для данного положения кривошипа. При этом каждый раз при расчете ползун находится в положении B .

В связи со сказанным формулы далее будут получены для $\ell = \ell(\varphi) = \text{const}$. Естественно, что все формулы и рассуждения годятся для известного обычного кривошипно-ползунного механизма.

Найдем название выше величины (3). Очевидно

$$\overline{a_{s1}} = \overline{\ell_{s1}} = \frac{1}{2} \cdot \overline{\dot{r}}, \quad \overline{a_{s1}} = \overline{\ddot{\ell}_{s2}} = \overline{\ddot{r}} + \frac{1}{2} \cdot \overline{\ddot{\ell}}, \quad \overline{a_B} = \overline{\ddot{x}_B} = \overline{\ddot{r}} + \overline{\ddot{\ell}}.$$

Согласно рисунку 2 имеем:

$$\overline{\ddot{r}} = \overline{\dot{i}}(r \cdot \cos \varphi) + \overline{\dot{j}}(r \cdot \sin \varphi), \quad \overline{\ddot{\ell}} = \overline{\dot{i}}[\ell \cos(\pi + \psi)] + \overline{\dot{j}}[\ell \sin(\pi - \psi)] = \overline{\dot{i}}(-\ell \cos \psi) + \overline{\dot{j}}(-\ell \sin \psi),$$

откуда следует

$$\overline{\ddot{r}} = \overline{\dot{i}}(r \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi) + \overline{\dot{j}}(-r \cdot \omega^2 \cdot \sin \varphi), \quad \overline{\ddot{\ell}} = \overline{\dot{i}}\ell[\cos \psi \dot{\psi}^2 + \sin \psi \ddot{\psi}] + \overline{\dot{j}}\ell[\ell \sin \psi \dot{\psi}^2 - \cos \psi \ddot{\psi}].$$

Воспользуемся далее соотношением (2). Из последнего вычисляя $\cos \psi$:

$$\cos \psi = \sqrt{1 - \sin^2 \psi} = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{\ell}\right)^2 \sin^2 \varphi}.$$

Кроме того, дифференцируя левую и правую часть по t и делая некоторые преобразования, находим:

$$\frac{d^2 \sin \psi}{dt^2} = \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{r}{\ell} \sin \varphi \right) = -\frac{r}{\ell} \cdot \omega^2 \cdot \sin \varphi;$$

$$\cos \psi \dot{\psi} = \frac{r}{\ell} \cdot \omega \cdot \cos \varphi; \quad \dot{\psi} = \frac{r}{\ell} \cdot \omega \cdot \frac{\cos \varphi}{\cos \psi};$$

$$\ddot{\psi} = \frac{r}{\ell} \cdot \omega \cdot \left(\frac{-\omega \sin \varphi \cos \varphi + \cos \varphi \sin \psi \ddot{\psi}}{\cos^2 \psi} \right),$$

$$\text{тогда } \overline{\ddot{x}_B} = \overline{\dot{i}}(\ddot{r}_x + \ddot{\ell}_x) = \overline{\dot{i}}(-r \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi + \cos \psi \dot{\psi}^2 + \sin \psi \ddot{\psi}).$$

С расчетом на использование ЭВМ теперь можно записать:

$$\overline{R_1^n} = \overline{\dot{i}}R_{1x}^n + \overline{\dot{j}}R_{1y}^n, \quad \overline{R_2^n} = \overline{\dot{i}}R_{2x}^n + \overline{\dot{j}}R_{2y}^n, \quad \overline{R_3^n} = \overline{\dot{i}}R_{3x}^n,$$

$$\text{где } R_{1x}^n = -\frac{1}{2} m_1 \cdot \ddot{r}_x, \quad R_{1y}^n = -\frac{1}{2} m_1 \cdot \ddot{r}_y,$$

$$R_{2x}^n = -m_2 \cdot \left(\ddot{r}_x + \frac{1}{2} \cdot \ddot{\ell}_x \right), \quad R_{2y}^n = -m_2 \cdot \left(\ddot{r}_y + \frac{1}{2} \cdot \ddot{\ell}_y \right), \quad R_{3x}^n = -m_B \cdot (\ddot{r}_x + \ddot{\ell}_x),$$

$$\ddot{r}_x = -r \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi, \quad \ddot{r}_y = -r \cdot \omega^2 \cdot \sin \varphi,$$

$$\ddot{\ell}_x = \ell \cdot (\cos \psi \dot{\psi}^2 + \sin \psi \ddot{\psi}), \quad \ddot{\ell}_y = r \cdot \omega^2 \cdot \sin \varphi.$$

Согласно методу кинетостатика введем силы тяжести, силы и моменты сил инерции, сделаем мысленные разрезы по шарнирам O , A и по направляющей ползуна и заменим действие связей их реакциями. Последние будем представлять в виде их составляющих по осям координат. Размер по шарниру B делать не будем, т.к. физически в гибко-шатунном механизме этого шарнира нет, и вычисление реакций в нем не имеет смысла.

Расчетное нагружение звеньев показано на рис. 2. Здесь x_0, y_0, x_A, y_A искомые составляющие, N – нормальная реакция в направляющей, которая может быть использована для уточнения величины силы сухого трения, $M_{дв}$ – движущий момент или момент двигателя, F_0 – суммарная сила резания и сухого трения, P_1, P_2, P_3 – силы тяжести, $P_1 = m_1 \cdot g, P_2 = m_2 \cdot g, P_3 = m_3 \cdot g$. При этом предполагается, что линии действия сил P_3, N, F_0, R_{3x}^n проходят через точку B .

Запишем уравнение кинетостатики для звена AB с ползуном:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_{kx} = -x_A + R_{2x}'' - P_2 - P_3 - F_0 + R_{3x}'' = 0; \\ \sum F_{ky} = y_A + R_{2y}'' + N = 0; \\ \sum m_B(\bar{F}_k) = x_A \cdot \ell \cdot \sin \psi + y_A \cdot \ell \cdot \cos \psi + R_{2y}'' \cdot \frac{\ell}{2} \cos \psi + M_{S_2} + (P_2 - R_{2x}'') \cdot \frac{\ell}{2} \sin \psi = 0. \end{array} \right. \quad (4)$$

для звена OA:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_{kx} = x_A + R_{1x}'' - P_1 - x_0 = 0; \\ \sum F_{ky} = -y_A + R_{1y}'' + y_0 = 0; \\ \sum m_O(\bar{F}_k) = M_{дв} - x_A \cdot r \cdot \sin \varphi - y_A \cdot r \cdot \cos \varphi + R_{1y}'' \cdot \frac{r}{2} \cos \varphi + (P_1 - R_{1x}'') \cdot \frac{r}{2} \sin \varphi = 0. \end{array} \right. \quad (5)$$

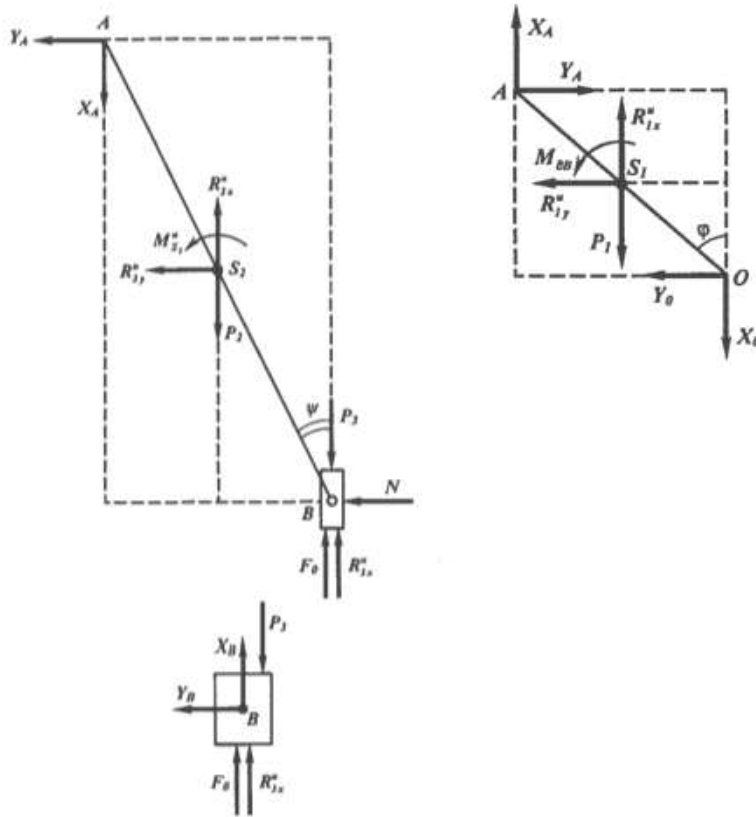


Рисунок 2 – Схема нагружения звеньев

Решения систем (4) и (5) записываются сразу:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_A = R_{2x}'' + R_{3x}'' + F_0 - P_2 - P_3; \\ y_A = -\frac{1}{\ell \cdot \cos \psi} \cdot \left[x_A \cdot \ell \cdot \sin \psi + M_{S_1} + R_{2y}'' \cdot \frac{\ell}{2} \cdot \cos \psi + (P_1 - R_{2x}'') \cdot \frac{\ell}{2} \sin \psi \right]; \\ N = -y_A - R_{2y}''; \\ x_0 = x_A + R_{1x}'' - P_1; \\ y_0 = y_A - R_{1y}''; \\ M_{дв} = x_A \cdot r \cdot \sin \varphi + y_A \cdot r \cdot \sin \varphi - R_{1y}'' \cdot \frac{r}{2} \cdot \cos \varphi - (P_1 - R_{1x}'') \cdot \frac{r}{2} \cdot \sin \varphi. \end{array} \right. \quad (6)$$

В исследуемом механизме $|\psi| \leq \pi/2$ в любом положении, поэтому никаких особенностей в решениях (6) не возникает. Трение в сочленениях мало, не учитывается. Анализ величин позволит оценить потребную мощность приводного двигателя.

Найдя числовые значения величин (6) можно затем определить значения самих реакций в парах О,А и их направлениях:

$$\begin{cases} R_A = \sqrt{x_A^2 + y_A^2}; \\ R_O = \sqrt{x_O^2 + y_O^2}; \\ \operatorname{tg}\gamma_1 = \frac{y_A}{x_A}; \\ \operatorname{tg}\gamma_0 = \frac{y_O}{x_O}. \end{cases}$$

Заметим, что для определения реакции в шарнире В достаточно сделать мысленный разрез по шарниру и изобразить нагружение ползуна (рис. 2). Тогда для определения искомым составляющих, можно получить систему:

$$\begin{cases} \sum F_{kx} = x_B - P_3 + F_0 + R_{3x}^n = 0; \\ \sum F_{ky} = y_B + N = 0. \end{cases}$$

откуда

$$\begin{cases} x_B = P_2 - F_0 - R_{3x}^n; \\ y_B = -N; \\ N = -y_A - R_{2y}^n; \\ R_B = \sqrt{x_B^2 + y_B^2}; \\ \operatorname{tg}\gamma_1 = \frac{y_B}{x_B}. \end{cases}$$

Очевидно, полученные формы (6) позволяют провести предварительные расчеты величин реакций в сочленениях для предлагаемого набора параметров звеньев гибко-шатунного механизма и затем подбирать пары, удовлетворяющие требованиям прочности и долговечности.

Результаты примера расчетов приведены в таблице 1. Соответствующие графические зависимости величин, составляющих реакции от угла поворота кривошипа приведены на рисунках 3, 4.

Таблица 1 – Динамические реакции в сочленениях гибко-шатунного механизма.

| m _B =0,02 кг, EJ=0,06; F ₀ =2 Н, r=20 мм, ℓ =110 мм | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|---|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| φ, град | x _A , Н | y _A , Н | N, Н | x _O , Н | y _O , Н | M _{S2ⁿ} , Н· м ² | R _A , Н | γ _A , град | R _O , Н | γ _O , град |
| 0 | 57,7 | 0,0 | 0,0 | 146,7 | 0,0 | 0,0 | 57,7 | 0,0 | 148,7 | 0,0 |
| 18 | 55,8 | -0,6 | -3,8 | 140,5 | -5,1 | 0,5 | 55,8 | -0,7 | 140,6 | -2,1 |
| 36 | 50,2 | -1,2 | -7,1 | 122,4 | -9,4 | 0,9 | 50,3 | -1,3 | 122,7 | -4,4 |
| 54 | 40,9 | -1,4 | -9,3 | 93,4 | -12,1 | 1,0 | 40,9 | -2,0 | 94,2 | -7,5 |
| 72 | 27,9 | -1,4 | -10,3 | 55,6 | -13,0 | 0,7 | 27,9 | -2,8 | 57,1 | -13,3 |
| 90 | 11,4 | -1,0 | -10,1 | 11,6 | -12,2 | 0,2 | 11,4 | -5,3 | 16,8 | -48,8 |
| 108 | -7,8 | -0,6 | -8,9 | -35,2 | -10,0 | -0,4 | 7,8 | 4,2 | 38,6 | 16,0 |
| 128 | -27,9 | -0,1 | -7,1 | -80,4 | -7,3 | -0,8 | 27,9 | 0,2 | 80,7 | 5,2 |
| 144 | -46,2 | 0,2 | -4,9 | -118,8 | -4,5 | -1,0 | 46,2 | -0,2 | 118,9 | 2,2 |

| m _B =0,02 кг, EJ=0,06; F ₀ =2 Н, r=20 мм, ℓ =110 мм | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|--|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| φ, град | x _A , Н | y _A , Н | N, Н | x ₀ , Н | y ₀ , Н | M _{S2} ^H , Н· м ² | R _A , Н | γ _A , град | R ₀ , Н | γ ₀ , град |
| 162 | -59,4 | 0,2 | -2,6 | -145,3 | -2,2 | -0,7 | 59,4 | -0,2 | 145,3 | 0,9 |
| 180 | -64,7 | 0,0 | -0,2 | -155,7 | -0,2 | -0,1 | 64,7 | 0,0 | 155,7 | 0,1 |
| 198 | -61,0 | -0,2 | 2,2 | -143,3 | 1,8 | 0,6 | 61,0 | 0,2 | 143,3 | -0,7 |
| 216 | -49,0 | -0,2 | 4,5 | -124,5 | 4,1 | 0,9 | 49,0 | 0,2 | 124,6 | -1,9 |
| 234 | -31,4 | 0,0 | 6,7 | -87,8 | 6,8 | 0,9 | 31,4 | -0,1 | 88,1 | -4,5 |
| 252 | -11,4 | 0,5 | 8,6 | -43,4 | 9,6 | 0,5 | 11,4 | -2,4 | 44,5 | -12,5 |
| 270 | 8,1 | 1,0 | 9,9 | 3,5 | 11,9 | -0,1 | 8,2 | 6,8 | 12,4 | 74,4 |
| 288 | 25,2 | 1,3 | 10,3 | 43,2 | 13,0 | -0,7 | 25,2 | 3,0 | 50,0 | 15,2 |
| 306 | 38,9 | 1,4 | 9,6 | 87,3 | 12,4 | -1,0 | 38,9 | 2,1 | 83,2 | 8,2 |
| 324 | 43,9 | 1,2 | 7,6 | 118,0 | 10,0 | -1,0 | 43,9 | 1,4 | 118,4 | 4,9 |
| 342 | 55,1 | 0,8 | 4,5 | 138,2 | 6,0 | -0,6 | 55,1 | 0,8 | 138,3 | 2,5 |
| 360 | 57,6 | 0,1 | 0,7 | 146,5 | 0,9 | -0,1 | 57,6 | 0,1 | 146,5 | 0,4 |
| Max | 55,7 | 1,4 | 10,3 | 146,7 | 13,0 | 1,0 | 64,7 | 6,8 | 155,7 | 74,4 |
| при φ | 0,0 | 5,3 | 5,0 | 0,0 | 5,0 | 0,9 | 3,1 | 4,7 | 3,1 | 4,7 |
| Min | -64,7 | -1,4 | -10,3 | -156,7 | -13,0 | -1,0 | 7,8 | -5,3 | 12,4 | -46,8 |
| при φ | 3,1 | 0,9 | 1,2 | 3,1 | 1,2 | 5,3 | 1,9 | 1,6 | 4,7 | 1,6 |

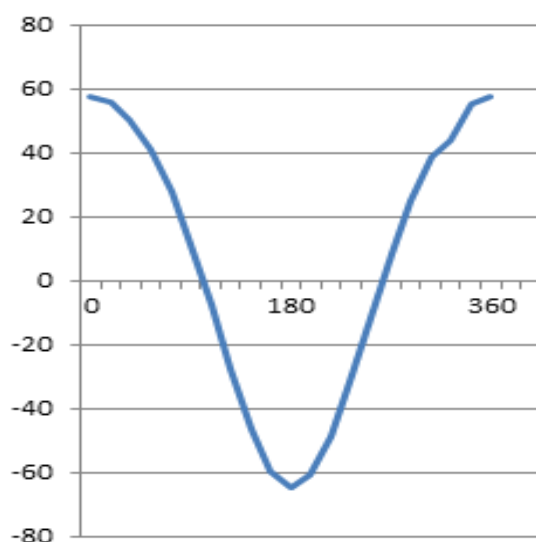


Рисунок 3 – График зависимости реакции x_A от угла поворота ϕ .

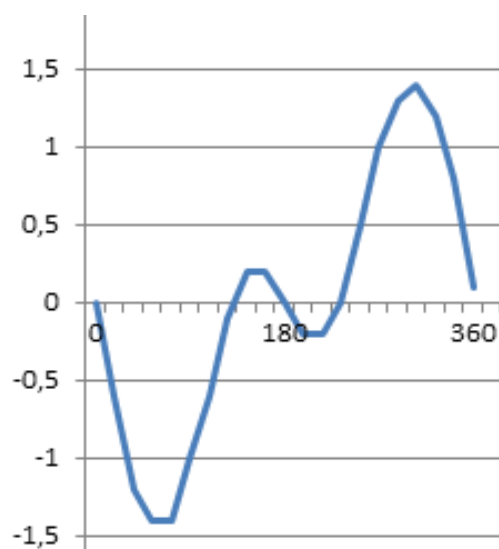


Рисунок 4 – График зависимости реакции y_A от угла поворота ϕ .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельник В.Г., Титаренко П.Н., Гольдина А.М. Раскройная система Servo-Cutter Automatic фирмы «Kuris» (Германия). Экспресс-информ «Оборудование для легкой промышленности» - М.: ЦНИИТЭИ Легпищепром, вып. №12, 1985 – с.24-26.
2. Фролов К.В. Теория механизмов и механика машин. – М.: Высшая школа, 2009. – 688 с.

УДК 66.048.3.069.833

**ОЦЕНКА ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КОЛОННЫХ АППАРАТАХ С НАСАДКОЙ
EVALUATION POWER INPUTS ON IMPLEMENTATION TECHNOLOGICAL PROCESSES IN COLUMN APPARATUSES WITH A PACKING**

**Мурад Гасан-Гусенович Багомедов, Александр Сергеевич Пушнов,
Михаил Георгиевич Беренгартен
Murad G.-G. Bagomedov, Aleksandr S. Pushov, Mikhail G. Berengarten**

*Московский политехнический университет, Россия, Москва
Moscow Polytechnic University, Russia, Moscow
(e-mail: bagomedovmurad@mail.ru)*

Аннотация. Рассмотрены комплексы энергоэффективности для процессов тепло – и массообмена. Исследовано гидравлическое сопротивление сухих и орошаемых миникольцевых насадок с различной высотой элементов: 50×5×0,2 мм, 50×10×0,2 мм и 50×15×0,2 мм. Показано, что с уменьшением высоты элементов насадки от 15 мм до 5 мм наблюдается закономерное увеличение гидравлического сопротивления в слое насадки. Предложены конструкция новых более эффективных контактных устройств для колонных аппаратов химической технологии, выполненных в виде миникольцевых насадок типа МКМ.

Ключевые слова: промышленные насадки, гидравлическое сопротивление, эффективность, миникольцевая насадка, удельная поверхность, энергосбережение.

Abstract. The energy efficiency complexes for heat and mass transfer processes are considered. The hydraulic resistance of dry and irrigated miniring packings with different element heights was investigated: 50×5×0.2 mm, 50×10×0.2 mm and 50×15×0.2 mm. It is shown that with a decrease in the height of the nozzle elements from 15 mm to 5 mm, a regular increase in the hydraulic resistance in the nozzle layer is observed. The proposed of new, more efficient contact devices for column devices of chemical technology, made in the form of miniring packings type МКМ.

Keywords: industrial packings, hydraulic resistance, efficiency, miniring packing, specific surface, energy saving.

Энергосбережение является важным и актуальным направлением экономического направления промышленности и сельского хозяйства. В соответствии с утвержденным комплексным планом мероприятий по повышению энергетической эффективности экономики Российской Федерации (распоряжение Правительства РФ от 19 апреля 2018 года № 703-р) планируется снизить к 2030 году энергоемкость валового внутреннего продукта РФ за счет технологического фактора на 23 % по сравнению с 2016 годом.

Существенными потребителями энергии являются предприятия нефтеперерабатывающей промышленности, нефтехимии и предприятия по производству минеральных удобрений для сельского хозяйства. Важным энергопотребителем на указанных предприятиях являются колонные аппараты, в которых осуществляются тепло – и массообменные технологические процессы [1]. В работах [1-3] показано, что использование новых более эффективных конструкций контактных устройств для колонных аппаратов химической технологии позволяет получить значительный энергосберегающий эффект.

В работе [2] для оценки энергетической эффективности процессов тепло – и массообмена предложено использовать комплексы энергоэффективности – E .

Для процессов массообмена комплекс энергоэффективности – E_m имеет вид [2]:

$$E_m = \frac{\Delta P_{op} h_{ou}}{H}, \quad (1)$$

здесь ΔP_{op} – перепад давления в орошаемой насадке, Па; H – высота слоя насадки, м

$$h_{oy} = \frac{G}{K_{oy} S a \psi \rho_r}, \quad (2)$$

здесь h_{oy} – высота единицы переноса, м; G – массовый расход газа, кг/с; K_{oy} – коэффициент массопередачи, м/с; S – площадь поперечного сечения аппарата, м²; a – удельная поверхность насадки, м²/м³; ρ_r – плотность газа, кг/м³; ψ – коэффициент смачиваемости поверхности насадки

Таким образом, коэффициент E_m характеризует энергозатраты и массообменную эффективность контактного устройства.

Для процессов теплообмена комплекс теплогидравлической эффективности – E_T имеет вид [2]:

$$E_T = \frac{K_T S H a \psi \rho_r}{\Delta P_{op} G}, \quad (3)$$

здесь K_T – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²К)

В работе [2] комплекс (3) рекомендуется для использования при оценке теплогидравлической эффективности градирен или насадочных колонных аппаратов для охлаждения газов.

Ниже приведены результаты исследования гидравлического сопротивления слоя перспективной миникольцевой насадки типа МКМ, выполненной в виде колец Мебиуса. Геометрические характеристики испытанной насадки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические характеристики миникольцевых насадок типа МКМ.

| Размер насадки, мм | Удельная поверхность a , м ² /м ³ | Порозность ε , м ³ /м ³ | Эквивалентный диаметр канала d_e , м | Число элементов N , шт/м ³ |
|--------------------|---|---|--|---|
| 50× 5×0,2 | 179 | 0,9848 | 0,022 | 123000 |
| 50×10×0,2 | 170 | 0,9863 | 0,023 | 59400 |
| 50×15×0,2 | 160 | 0,9878 | 0,025 | 37700 |

Испытаниям подвергали элементы насадки различной высоты – 5; 10 и 15 мм. При этом диаметральный размер элементов испытываемой насадки выполняли постоянным – 50 мм (рисунок 1).



Рисунок 1 – Элемент насадки типа МКМ.

Проведенные опыты показали, что при загрузке внавал элементы миникольцевой насадки обладают свойством самоориентации и располагаются в колонном аппарате в основном горизонтально. Это свойство миникольцевых насадок обеспечивает меньшее гидравлическое сопротивление по сравнению с такими промышленными насадками, как кольца Палля, Бялецкого и Рашига.

Гидравлические испытания проводили в колонном аппарате диаметром $D = 0,2$ м. Высота слоя насадки в колонном аппарате составляла $H = 0,65$ м. Опыты проводили на сухой и орошаемой насадке. Нагрузки по газу изменяли в пределах от $W_0 = 0,4$ м/с до $W_0 = 1,3$ м/с. Здесь W_0 – скорость воздушного потока в расчете на полное сечение пустого аппарата. Нагрузка по жидкости (вода) составляла 24 м³/(м² ч).

Результаты опытов представлены в виде графиков зависимости гидравлического сопротивления от скорости газового потока в расчете на полное сечение пустого аппарата рисунок 2 и рисунок 3.

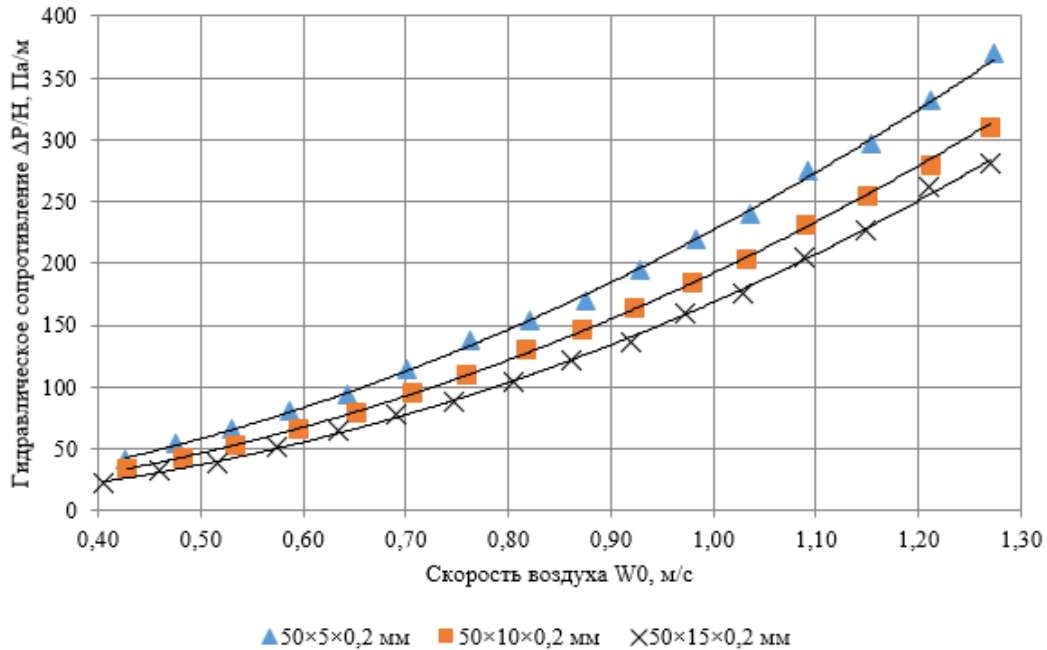


Рисунок 2 – Зависимость гидравлического сопротивления от скорости газового потока для различных размеров сухой насадки.

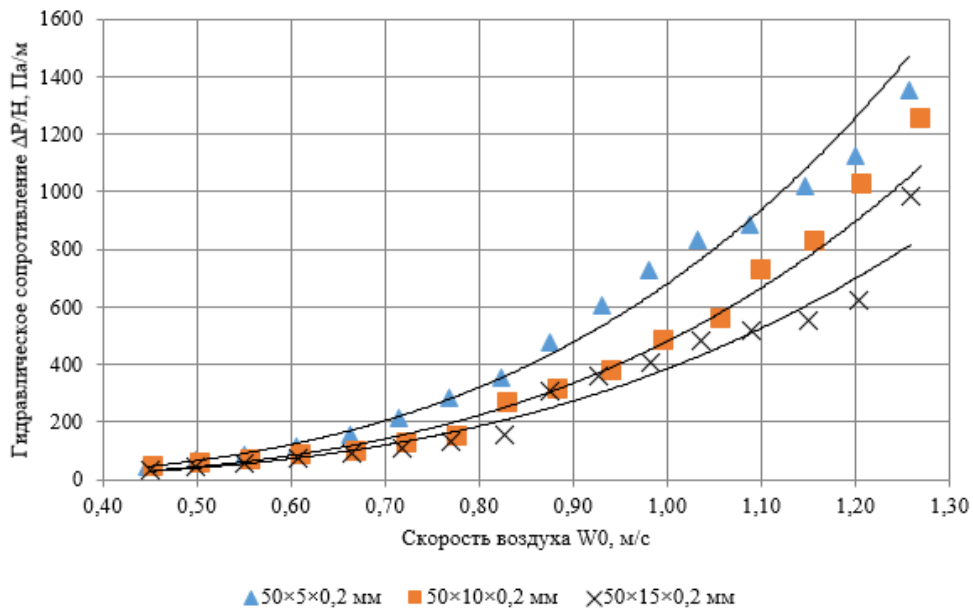


Рисунок 3 – Зависимость гидравлического сопротивления от скорости газового потока для различных размеров насадки при плотности орошения $24 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Результаты проведенных опытов по измерению гидравлического сопротивления слоя сухих миникольцевых насадок типа МКМ показывают, что при уменьшении высоты элементов насадки в диапазоне от $h = 15 \text{ мм}$ до $h = 5 \text{ мм}$ гидравлическое сопротивление этой насадки увеличивается, что объясняется некоторым увеличением величины удельной поверхности (от $a = 160 \text{ м}^2/\text{м}^3$ при $h = 15 \text{ мм}$ до $a = 179 \text{ м}^2/\text{м}^3$ при $h = 5 \text{ мм}$). Следует отметить,

что существенное влияние на рост гидравлического сопротивления при $h = 5$ мм оказывает возрастание числа элементов насадки – N штук в единице объема при уменьшении высоты элементов насадки от $h = 15$ мм до $h = 5$ мм. Из данных таблицы 1 видно, что при этом число элементов насадки в единице объема возрастает в 3,26 раз. Такое резкое увеличение числа элементов насадки приводит к увеличению числа так называемых «концевых эффектов» и, как следствие, к возрастанию общего гидравлического сопротивления слоя насадки. Представленные здесь результаты гидравлических испытаний миникольцевой насадки типа МКМ качественно соответствуют опытным данным работ [4,5], в которых проводилось изучение гидравлики короткослоевых регулярных насадок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каган А.М., Лаптев А.Г., Пушнов А.С., Фарахов М.И. Контактные насадки промышленных теплообменных аппаратов. Монография. Под. ред. Лаптева А.Г. – Казань: Отечество, 2013, 454 с.
2. Лаптев А. Г., Башаров М. М. Эффективность теплообмена и разделения гетерогенных сред в аппаратах нефтегазохимического комплекса – Казань: Центр инновационных технологий, 2016, 344 с.
3. Лаптева Е. А., Лаптев А. Г. Прикладные аспекты явлений переноса в аппаратах химической технологии и теплоэнергетики (гидромеханика и теплообмен) – Казань: Издательство «Печать – Сервис XXI век», 2015, 236 с.
4. Махнин А.А. Совершенствование процессов и аппаратов для очистки паровоздушных смесей от органических растворителей сорбционными методами: дис. ... д-р техн. наук. Ярославль, 2010.
5. Пушнов А.С., Лозовая Н.П. Гидравлическое сопротивление регулярных насадок и эффективность процессов испарительного охлаждения в градирнях// Энергосбережение и водоподготовка, 2011, № 3, с. 36-37.

УДК 66.011

ОЦЕНКА ЗАТРАТ ТЕПЛОТЫ И СПОСОБНОСТИ ЖИДКИХ СМЕСЕЙ РАЗДЕЛЯТЬСЯ МЕТОДОМ РЕКТИФИКАЦИИ ASSESSMENT OF COSTS OF HEAT ENERGY AND THE ABILITY OF LIQUID MIXTURES TO BE SEPARATED BY RECTIFICATION METHOD

Михаил Константинович Захаров, Мария Игоревна Прусаченкова
Mikhail K. Zakharov, Maria I. Prusachenkova

*МИРЭА – Российский технологический университет
(Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова), Россия, Москва
MIREA - Russian Technological University
M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Russia, Moscow
(e-mail: mkzakharov@gmail.com, prusachenkova.maria@gmail.com)*

Аннотация: Проведено сравнение различных оценок способности жидких смесей разделяться методами перегонки. Показано, что минимальные затраты теплоты при ректификации зависят от коэффициента распределения низкокипящего компонента между паровой и жидкой фазами. Анализ результатов проведенных расчетов двух симметричных разделений одной и той же смеси показал, что затраты теплоты при ректификации меньше, когда больше внутреннее энергосбережение в ректификационной колонне.

Abstract: Comparison of various evaluation techniques of the ability of liquid mixtures to be separated by distillation methods has been made. It is shown that the minimum heat consumption of distillation depend on the distribution coefficient of the low-boiling component between the vapor and liquid phases. Analysis of the results of the calculation of two symmetric separations of the same binary mixture showed that the heat consumption for distillation is less in the case when the internal energy saving in the distillation column is greater.

Ключевые слова: ректификация, бинарные смеси, относительная летучесть, флегмовое число, коэффициент распределения, внутреннее энергосбережение при ректификации.

Keywords: distillation, binary mixtures, relative volatility, reflux ratio, distribution coefficient, internal energy saving in distillation.

Затраты теплоты при разделении жидких смесей методом ректификации связаны, прежде всего, с необходимостью испарять жидкость для образования парового потока по колонне. При этом принимается во внимание способность смеси разделяться методами перегонки. Вопрос о корректной оценке трудности разделения смеси методом ректификации и связанных с этим затратах теплоты в кипятильнике ректификационной колонны является достаточно сложным и очень актуальным.

Общепринято оценивать способность жидких смесей разделяться методами перегонки (и в том числе ректификацией) коэффициентом относительной летучести компонентов разделяемой смеси $\alpha = P_A/P_B$, где P_A и P_B – давление насыщенных паров чистых компонентов при определенной температуре t . Как будет показано ниже, эта оценка способности жидких смесей разделяться методами перегонки не является корректной. Отметим, что даже в случае идеальных бинарных смесей значение α не является постоянной величиной, а зависит от концентрации низкокипящего компонента (НКК) в смеси. Так как при изменении состава смеси изменяется ее температура кипения, то изменяется и отношение P_A/P_B . Это обусловлено тем, что зависимости давлений насыщенных паров от температуры сильно нелинейны.

При допущении постоянства коэффициента относительной летучести равновесные составы жидкости x и пара y для идеальных бинарных смесей связаны зависимостью:

$$y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}. \quad (1)$$

При значениях α , близких к единице, величина $(\alpha - 1)$ названа коэффициентом обогащения [1]. Видно, что коэффициент обогащения $(\alpha - 1)$ – это относительное увеличение концентрации НКК в паровой фазе по сравнению с его концентрацией в жидкости.

Для реальных смесей значение коэффициента относительной летучести может изменяться от 1 до ∞ . Такой широкий диапазон изменения значений α не позволяет аналитически выразить зависимость затрат теплоты при ректификации для всего многообразия бинарных смесей и проанализировать влияние α на эти затраты.

Нами была предложена [2] более удобная оценка способности смеси разделяться методом перегонки, является величина, определяемая в виде

$$P = \frac{\alpha - 1}{\alpha + 1}. \quad (2)$$

Эта оценка способности жидких смесей разделяться методами перегонки названа нами **разделяемостью** смеси. Она изменяется в пределах от 0 (при $\alpha = 1$) до 1 (при $\alpha = \infty$).

При значениях α , мало отличающихся от 1, разделяемость смеси P в 2 раза меньше коэффициента обогащения $(\alpha - 1)$, что согласуется с формулой (2). С погрешностью менее 5% это соблюдается до значения $\alpha = 1.1$. При больших значениях α для оценки затрат теплоты на разделение таких смесей удобнее пользоваться характеристикой P , охватывающей

весь диапазон возможных значений α , включая отгонку растворителя из растворов нелетучих солей (здесь $\alpha = \infty$).

При любых значениях концентрации НКК в жидкости коэффициент относительной летучести, определенный как отношение давлений насыщенных паров компонентов смеси, может быть представлен (путем домножения числителя и знаменателя на рабочее давление) в то же время как отношение констант фазового равновесия компонентов разделяемой смеси:

$$\alpha = \frac{P_A}{P_B} = \frac{P_A \times P}{P_B \times P} = \frac{K_A}{K_B}, \quad (3)$$

где P – рабочее давление, P_A и P_B – давления насыщенных паров компонентов смеси, $K_A = P_A/P$ и $K_B = P_B/P$.

Константы фазового равновесия компонентов K_A и K_B при $P = const$ изменяются с уровнем концентраций, так как упругость паров чистых компонентов есть функция температуры кипения t , а последняя зависит от состава смеси.

При малых концентрациях НКК температура кипения смеси близка к температуре кипения ВКК, и константа K_B близка к 1, так как упругость паров чистого ВКК лишь немного меньше рабочего давления P . В этом случае можно приближённо считать $\alpha = K_A$.

В области средних составов коэффициент относительной летучести α определяется отношением (3). А это значит, что коэффициент α учитывает и увеличение НКК в паровой фазе по сравнению с жидкой ($K_A = y/x$) и, одновременно, увеличение ВКК в жидкой фазе по сравнению с паровой ($\frac{1}{K_B} = \frac{1-x}{1-y}$). То есть дважды учитывает один и тот же эффект.

В области больших концентраций НКК коэффициент относительной летучести – $\alpha = 1/K_B$. При этом концентрация НКК в паровой фазе y лишь незначительно превышает концентрацию НКК в жидкости x . Примем $x = 0,9$, а $y = 0,95$. Тогда

$$\alpha = \frac{1}{K_B} = \frac{1-x}{1-y} = \frac{1-0,9}{1-0,95} = \frac{0,1}{0,05} = 2 \quad (4)$$

характеризует лишь увеличение ВКК в жидкой фазе по сравнению с паровой. При этом численное значение α , равное 2, «свидетельствует» о достаточно хорошей способности этой жидкой бинарной смеси разделяться методом перегонки. На самом же деле небольшое относительное приращение концентрации НКК:

$$\frac{y-x}{x} = \frac{0,95-0,90}{0,90} = 0,0556$$

свидетельствует, как раз, об обратном.

Отношение равновесных концентраций какого-либо компонента в фазах называют **коэффициентом распределения**

$$m = \left(\frac{y}{x} \right)_p. \quad (5)$$

Этот коэффициент представляет собой тангенс угла наклона **секущей** к линии равновесия – из начала координат в точку с равновесными концентрациями y, x . Нижний индекс p в формуле (5) означает, что речь идет о равновесных концентрациях НКК в паровой и жидкой фазах. Для кривых линий равновесия (при ректификации – всегда) величина m изменяется с концентрациями. Лишь при малых концентрациях НКК в смеси тангенс угла наклона касательной мало отличается от тангенса угла наклона секущей. В области средних и больших концентраций НКК это отличие становится очень значительным даже для бинарных смесей, близких к идеальности. Тем более, это отличие усиливается в случае реальных смесей.

С целью выявления влияния коэффициента распределения m на затраты теплоты при ректификации в данной работе выполнен вычислительный эксперимент (в диаграмме $y-x$ и в программном обеспечении Aspen Plus, с использованием методов DSTWU, RadFrac и модуля «Sensitivity»). В качестве объекта исследования выбрана смесь бензол–толуол, одна из наиболее близких к идеальным. Разделению подвергались две симметричные исходные смеси,

содержащие 0.74 мол. дол. одного из компонентов, с доведением содержания этого компонента до 0.98 мол. дол. и получением второго продукта разделения эквимольного состава. Производительность колонн по исходной смеси L_1 в обоих случаях принята равной 0.01 кмоль/с. Коэффициент избытка флегмы σ также принят одинаковым и равным 1.1. Найденные значения числа тарелок в колоннах и затраты теплоты в кипятильниках приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение результатов расчёта. Смесь бензол–толуол.

| Показатель | Расчёт в диаграмме $y-x$ | | | | | | Компьютерный расчёт в программном обеспечении Aspen Plus | | | | | |
|---|--|-------|-------|-----------|-------|-------|--|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | Вариант 1 | | | Вариант 2 | | | Вариант 1 | | | Вариант 2 | | |
| | Составы, $\left[\frac{\text{кмоль НКК}}{\text{кмоль см}} \right]$ | | | | | | Составы, $\left[\frac{\text{кмоль НКК}}{\text{кмоль см}} \right]$ | | | | | |
| | x_0 | x_1 | x_2 | x_0 | x_1 | x_2 | x_0 | x_1 | x_2 | x_0 | x_1 | x_2 |
| | 0.50 | 0.74 | 0.98 | 0.02 | 0.26 | 0.50 | 0.50 | 0.74 | 0.98 | 0.02 | 0.26 | 0.50 |
| Число тарелок в укрепл. колонне, n_y | 12.9 | | | 4.1 | | | 9 | | | 3 | | |
| Число тарелок в отгонной кол., n_o | 3.2 | | | 15.2 | | | 3 | | | 16 | | |
| Флегмовое число, R | 0.857 | | | 0.208 | | | 0.848 | | | 0.218 | | |
| Затраты теплоты в кипятильнике, Q_k , [кВт] | 283 | | | 210 | | | 284 | | | 200 | | |
| Внутреннее энергосбережение, Эн | 0.569 | | | 0.824 | | | 0.591 | | | 0.801 | | |
| Коэффициент распределения, m | 1.18 | | | 1.8 | | | 1.18 | | | 1.8 | | |

Если способность бинарных жидких смесей разделяться методами перегонки оценивать **относительной летучестью** компонентов и принять допущение о её постоянстве во всём диапазоне составов, то следовало ожидать равенства затрат теплоты в кипятильниках при разделении таких симметричных смесей. Однако приведённые в таблице 1 результаты расчёта затрат теплоты свидетельствуют о больших затратах теплоты в первом варианте разделения. Это полностью отвечает положению о том, что затраты теплоты пропорциональны паровому потоку по колонне, то есть произведению доли отбора верхнего продукта D на $(R + 1)$. Поскольку доли отбора верхнего продукта в обоих вариантах равны 0.5, то большие затраты теплоты обусловлены большим флегмовым числом в первом варианте. Возникает вопрос: почему смесь в варианте 1 делится труднее? Ответ очевиден и прост, а именно: коэффициент распределения m низкокипящего компонента между паровой и жидкой фазами зависит от уровня концентраций. В варианте 1 он значительно меньше (1.18), чем в варианте 2 (1.80) – см. табл. 1.

Повышенные затраты теплоты в первом варианте разделения ($\cong 285$ кВт по сравнению с $\cong 205$ кВт – во втором) подтверждают основополагающее правило ректификации: затраты теплоты в кипятильнике растут с увеличением флегмового числа. Поэтому реальное флегмовое число должно быть близким к минимальному и определяется технико-экономическим расчётом.

Согласно теории внутреннего энергосбережения [2] затраты теплоты в кипятильнике колонны уменьшаются при увеличении внутреннего энергосбережения в ректификационной колонне. Последнее определяется не только флегмовым числом R в укрепляющей секции, но и соотношением числа теоретических тарелок в укрепляющей n_y и отгонной n_o секциях колонны.

При подаче в колонну исходной смеси при температуре кипения внутреннее энергосбережение в ректификационной колонне рассчитывается по формуле [2]:

$$\text{Эн} = \frac{R}{R+1} \frac{n_y}{n_y + n_o} + \frac{n_o}{n_y + n_o}. \quad (6)$$

Выводы

Затраты теплоты при ректификации бинарных смесей зависят (помимо потока, состава исходной смеси и качества продуктов разделения) от коэффициента распределения m одного из компонентов смеси между паровой и жидкой фазами, а не от коэффициента относительной летучести α .

Расчёт внутреннего энергосбережения подтвердил основные положения теории энергосбережения при ректификации, а именно, при увеличении внутреннего энергосбережения в колоннах затраты теплоты в кипятильнике уменьшаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Benedict M. Multistage separation processes // Chem. Eng. Progress, 1947, V. 43, № 2, P. 41-60
2. Захаров М.К. Энергосберегающая ректификация. Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2018. 252 с.

УДК 541.64:678.84

ГЕРМЕТИЧНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИУРЕТАНА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ТОПЛИВА ВОЗДУШНЫМ ТРАНСПОРТОМ THE TIGHTNESS OF POLYMERIC TANKS ON THE BASIS OF THERMOPLASTIC POLYURETHANE FOR THE TRANSPORT OF FUEL FOR AIR TRAVEL

Дмитрий Валерьевич Колотилин*, Александр Васильевич Дедов**
Dmitry V. Kolotilin *, Alexander V. Dedov **

*ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», г. Москва

* FAA “25 State Research Institute of Chemotology of the Ministry of Defense of Russia”, Moscow
(e-mail: dedovs55@rambler.ru)

**Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва

**The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: dedovs55@rambler.ru)

Аннотация: Предложен подход для моделирования зависимости времени сохранения герметичности полимерных резервуаров от толщины оболочки и типа топлива, приведены результаты экспериментальных исследований проницаемости полимерной оболочки.

Abstract: An approach is proposed to simulate dependence of the time of preservation of the polymer tanks on the thickness of shell and type of fuel is proposed, results of experimental studies of the permeability of the polymer shell are presented.

Ключевые слова: резервуар, герметичность, моделирование
Keywords: reservoir, tightness, modeling

Замкнутый объем грузовой кабины летательного аппарата ограничивает концентрацию паров топлива, которая должна быть ниже взрывоопасного предела [1-3].

Практическое значение имеет прогнозирование времени сохранения герметичности резервуара для транспортировки топлива воздушным транспортом. Целью работы является разработка модели для прогнозирования времени сохранения герметичности полимерного резервуара различной толщины оболочки.

В качестве объекта исследования использовали образцы оболочки полимерного резервуара из термопластичного полиуретана (ТПУ) марки 2080 (Израиль) на основе смеси простых и сложных полиэфиров в соотношении 70:30 [1,2]. Толщина пленки ТПУ составила 2, 3 и 6 мм. Проницаемость бензина Регуляр-92 и дизельного топлива 13/ИН-18 ДТ (ГОСТ Р 1866-2002) через пленки ТПУ определяли по ГОСТ 27896 при температуре 50°C. Условия проведения испытаний были приближены к условиям эксплуатации резервуара, прежде всего был обеспечен контакт полимерного образца с топливом.

Кроме того, методика эксперимента предусматривала постоянное удаление выделившегося бензина с внешней поверхности образца, что достигали обдувом воздухом со скоростью 2 м/с. В таких условиях эксперимента кинетика десорбции зависела от скорости диффузии бензина в пленке [4]. Десорбцию бензина оценивали уменьшением массы (Q , кг/м²) топлива в диффузионной ячейке на единицу площади образца.

Показано [5], что стандартная методика определения проницаемости полимерных материалов не позволяет установить время сохранения герметичности резервуара. Согласно принятому методу обработки экспериментальных результатов, кинетические зависимости уменьшения массы топлива в диффузионной ячейке выходят из начала координат, и время, в течение которого топливо диффундирует через образец, не учитывается. Поэтому традиционный метод обработки экспериментальных данных не позволяет установить время сохранения герметичности.

Предложен подход, связанный с получением кинетических зависимостей уменьшения массы топлива в диффузионной ячейке в шкале условного времени, выраженного как корень квадратный из показателя реального времени эксперимента ($\tau^{0.5}$, сут). Кинетические зависимости уменьшения массы бензина и дизельного топлива в диффузионной ячейке, в которой в качестве односторонней мембраны использовали пленки ТПУ различной толщины в координатах условного времени представлены на рисунок 1.

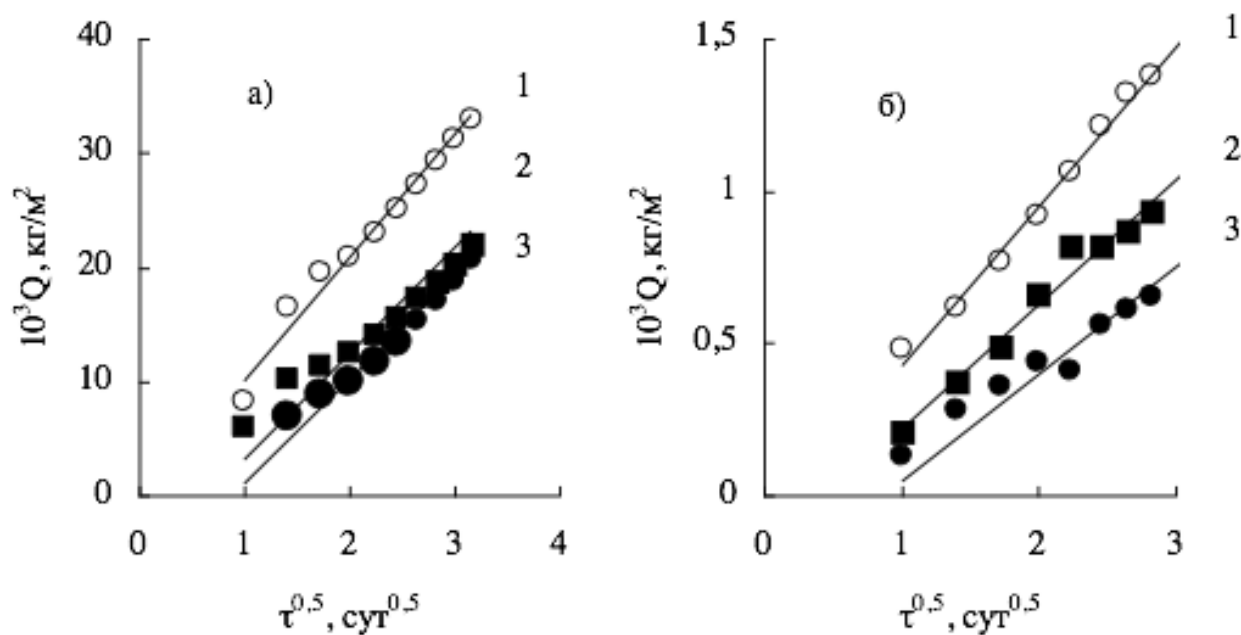


Рисунок 1 – Кинетические зависимости процесса десорбции бензина Регуляр-92 (а) и дизельным топливом 13/ИН-18 ДТ (б) при толщине оболочки 2 (1), 4 (2) и 6 (3) мм

Кинетические зависимости уменьшения массы топлива в диффузионной ячейке сложного вида в системе координат $Q-\tau$ [5] в системе координат $Q-\tau^{0.5}$ трансформируются в линейные зависимости. Пересечение линейных зависимостей с осью абсцисс позволяет определить условное время сохранения герметичности эластичного резервуара ($\tau_3^{0.5}$, сут). Анализ полученных данных показывает зависимость времени сохранения герметичности от толщины образцов ТПУ.

Зависимости условного времени сохранения герметичности от толщины пленки ТПУ (d , мм) при температуре топлива 50°C представлены на рис.2, зависимости $\tau_3^{0.5}$ от d получены при выполнении условия: если $d \rightarrow 0$, то $\tau_3^{0.5} \rightarrow 0$, из этого следует, что зависимости $\tau_3^{0.5}$ от d выходят из начала координат.

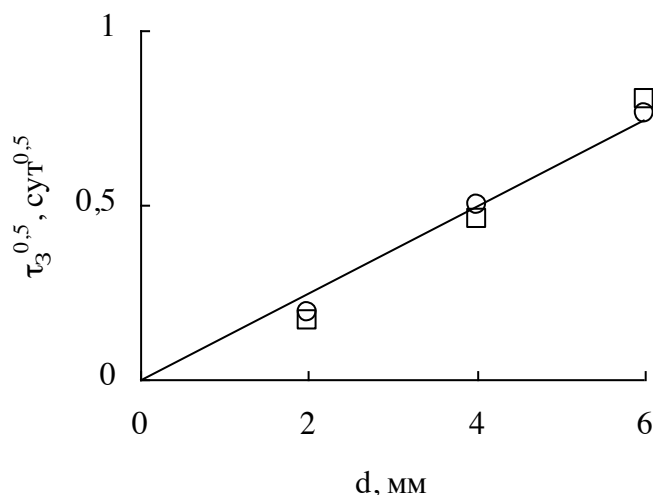


Рисунок 2 – Зависимости условного времени сохранения герметичности полимерного резервуара от толщины оболочки ТПУ при хранении автомобильного бензина (о) и дизельного топлива (□) температурой 50°C

Время сохранения герметичности резервуара заданной толщины оболочки не зависит от типа использованных топлив. Зависимости $\tau_3^{0.5}$ от d при температуре бензина и дизельного топлива 50°C описываются общим уравнением:

$$\tau_3^{0.5} = 0,12d \quad (1)$$

Выводы

Предложен подход для разработки модели, предназначенной для прогнозирования времени сохранения герметичности эластичных резервуаров из термопластичного полиуретана толщиной до 6 мм при температуре бензина и дизельного топлива 50°C ; установлена система координат, в которой кинетические зависимости уменьшения массы топлива в резервуаре имеют линейный вид и их пересечение с осью абсцисс позволяет определить время сохранения герметичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.В. Система обеспечения горючим армии США. Москва, 2018. 218 с
2. Иванов А.В., Рыбаков Ю.Н., Хранение и транспорт горючего с использованием эластичных резервуаров в США. Зарубежное военное обозрение. 2015. №8. С. 54-57
3. Гордеенко Ю.В. Морозов В.П., Прибылов А.С., Военная авиация. Кн. 1 – Мн.: «Попурри», 2000. 324 с
4. Рыбаков Ю.Н., Дедов А.В. Снижение проницаемости эластичных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов//Все материалы. Энциклопедический справочник 2018. №6. С. 13-17
5. Кюннап Р.И., Рыбаков Ю.Н., Дедов А.В. Моделирование кинетики потерь топлива при хранении в эластичных резервуарах//Нефтепереработка и нефтехимия 2017. №2. С.46-48

УДК 677.0543-83

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ФРИКЦИОННАЯ МУФТА ДЛЯ ПРИВодОВ
ТКАЦКИХ МАШИИ
ENERGY SAVING FRICTION CLUTCH FOR WEAVING MACHINES DRIVES**

**Александр Викторович Мещеряков
Alexander Viktorovich Meshcheryakov**

*Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: pr-mechanica@mail.ru)*

Аннотация. В статье рассмотрены конструкция, работа и расчет модифицированной сцепной фрикционной муфты с электромагнитным силовым элементом для приводов ткацких машин. В конструкции привода используется однодисковая фрикционная муфта с электромагнитным включением и механическим поддержанием сжатия ее рабочих элементов. Это позволяет в установившемся режиме работы ткацкой машины держать силовой электромагнит муфты выключенным, снизив потребление электроэнергии ткацкой машиной.

Abstract. The article discusses the design and operation of a modified start-up friction clutch with an electromagnetic force element for driving weaving machines. This allows in the steady state mode of operation of the weaving machine to keep the clutch power electromagnet off, thereby reducing the electric power consumption of the weaving machine when producing fabric.

Ключевые слова: ткацкая машина, пусковая фрикционная муфта, энергия.

Keywords: Weaving machine, start-up friction clutch, energy.

Одно из направлений развития ткацкого машиностроения – создание индивидуального электропривода для исполнительных механизмов ткацких машин. В приводных устройствах ткацких машин это проявляется в отказе от сцепных фрикционных муфт и тормозов, в переходе от понижающих ременных передач к зубчатым передачам, использовании специальных двигателей. Бельгийская фирма Picanol, используя в качестве главного двигателя – двигатель Sumo с масляным охлаждением, приводит в движение пневматические Omni plus 800 и рапирные GamMax ткацкие машины на прямую – без ременной передачи, муфты и тормоза. Ременная передача заменена на этих машинах специальными зубчатыми передачами. Однако полностью отказаться от использования сцепных фрикционных муфт в приводных устройствах всех ткацких машин вряд ли целесообразно.

На ткацких машинах в приводных устройствах чаще используются однодисковые фрикционные сцепные муфты и тормоза, силовое замыкание рабочих элементов которых обеспечивается дисковыми электромагнитами. Для обеспечения работы таких муфт требуется постоянное потребление электроэнергии, а в процессе останова машины электроэнергию потребляет и тормоз. Ткацкие машины – машины непрерывного принципа действия. Их останов явление нежелательное. Наличие в конструкции привода ткацких машин муфт, постоянно потребляющих электроэнергию в установившемся режиме работы машины, ведет к увеличению себестоимости продукции.

Исключить дополнительный расход электроэнергии для обеспечения работы сцепной муфты привода в установившемся режиме работы машины предлагается совместив электромагнитный и механический способы управления и поддержания работы муфты. Силовой электромагнит обеспечивает включение муфты. После занятия рабочими элементами муфты положения, при котором муфта выполняет свою основную функцию, включаются механические фиксаторы и удерживают ее рабочие элементы в этом положении.

Силовой электромагнит можно выключить, что уменьшает общий расход электроэнергии машиной. При останове машины фиксаторы выключаются, рабочие элементы муфты разъединяются, включается тормоз и останавливает машину.

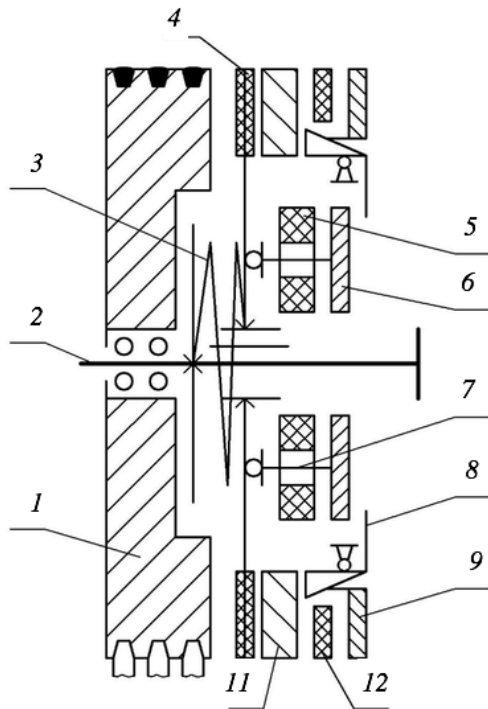


Рисунок 1 – Конструктивно-кинематическая схема привода ткацкой машины с энергосберегающей фрикционной муфтой

На рисунке 1 показана конструктивно-кинематическая схема привода для ткацкой машины разработанная на базе однодисковой фрикционной муфты с электромагнитным силовым элементом. При включении двигателя разгоняется шкив-маховик 1, свободно вращающийся относительно приводного вала 2. После его разгона включается силовой электромагнит 5 и притягивает якорь 6. Якорь, перемещаясь в осевом направлении, через стержни 7 и упорный подшипник прижимает фрикцион 4 к вращаему шкиву-маховику. Приводной вал начинает вращаться и приводит в движение исполнительные механизмы ткацкой машины. При занятии якорем силового электромагнита рабочего положения, защелки 8 фиксируют якорь в этом положении. Силовой электромагнит выключается и дальше электроэнергию не потребляет. При останове машины включается магнит управления 12, притягивает якорь 9 и выключает защелки, удерживающие якорь силового электромагнита. Тормозная пружина 3 отжимает фрикцион от шкива-маховика и прижимает его к тормозному диску 11. За счет трения между фрикционом и тормозным диском, который жестко закреплен на корпусе привода, исполнительные механизмы машины останавливаются. Момент, развиваемый между шкивом-маховиком и фрикционом, задается силовым электромагнитом. Тормозной момент регулируется затяжкой тормозной пружины. При расчете силового электромагнита учитывается усилие, которое надо развить, сжимая тормозную пружину.

Расчет параметров работы сцепной муфты для ее проектирования можно выполнить, как показали теоретические и экспериментальные исследования [1, 2], используя линейные цепные модели и уравнения Лагранжа второго рода. Для конструкции привода, показанной на рисунке 1, можно применить четырехзвенную модель, представленную на рисунке 2.

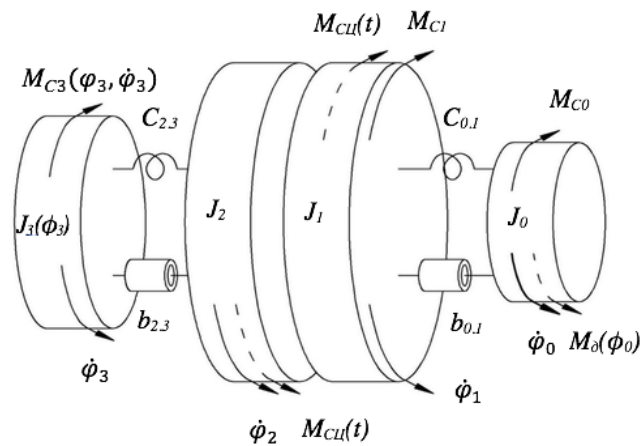


Рисунок 2 – Четырёхзвенная модель привода

На рисунке 2 J_0 – приведенный момент инерции ротора двигателя и части передачи между двигателем и шкивом-маховиком, J_1 – момент инерции шкива-маховика и части передачи между двигателем и шкивом-маховиком, J_2 – момент инерции фрикциона, $J_3(\varphi_3)$ – приведенный момент инерции исполнительных механизмов машины, $M_{c0}, M_{c1}, M_{c3}(\varphi_3, \dot{\varphi}_3)$ – моменты сопротивления движению соответствующих звеньев модели, $c_{0,1}, b_{0,1}$ – жесткость и коэффициент рассеивания энергии передачи между звеньями 0 и 1, $c_{2,3}, b_{2,3}$ – тоже между звеньями 2 и 3, $\dot{\varphi}_0, \dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2, \dot{\varphi}_3$ – угловые скорости звеньев 0 – 3, $M_{сц}(t)$ – момент, развиваемый сцепной муфтой, $M'_{сц}$ – остаточный момент в сцепной муфте. Для модели на рис.2 система уравнений движения ее звеньев будет иметь следующий вид:

$$J_0 \ddot{\varphi}_0 = M_D(\dot{\varphi}_0) - M_{c0} - c_{0,1}(\varphi_0 - \varphi_1) - b_{0,1}(\dot{\varphi}_0 - \dot{\varphi}_1);$$

$$J_1 \ddot{\varphi}_1 = c_{0,1}(\varphi_0 - \varphi_1) + b_{0,1}(\dot{\varphi}_0 - \dot{\varphi}_1) - M_{c1} - M_{сц}(t) - M'_{сц};$$

$$J_2 \ddot{\varphi}_2 = M_{сц}(t) + M'_{сц} - c_{2,3}(\varphi_2 - \varphi_3) - b_{2,3}(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3);$$

$$J_3 \ddot{\varphi}_3 = c_{2,3}(\varphi_2 - \varphi_3) + b_{2,3}(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) - M_{c3}(\varphi_3, \dot{\varphi}_3) - c_{3,4}(\varphi_3 - \varphi_4) - b_{3,4}(\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_4).$$

При разгоне двигателя и шкива-маховика до скорости холостого хода при расчетах используются первых два уравнения. При расчете разгона фрикциона и исполнительных механизмов машины до сцепления фрикциона со шкивом-маховиком используются четыре уравнения системы. После их сцепления второе и третье уравнения объединяются и движение звеньев модели описывается тремя уравнениями.

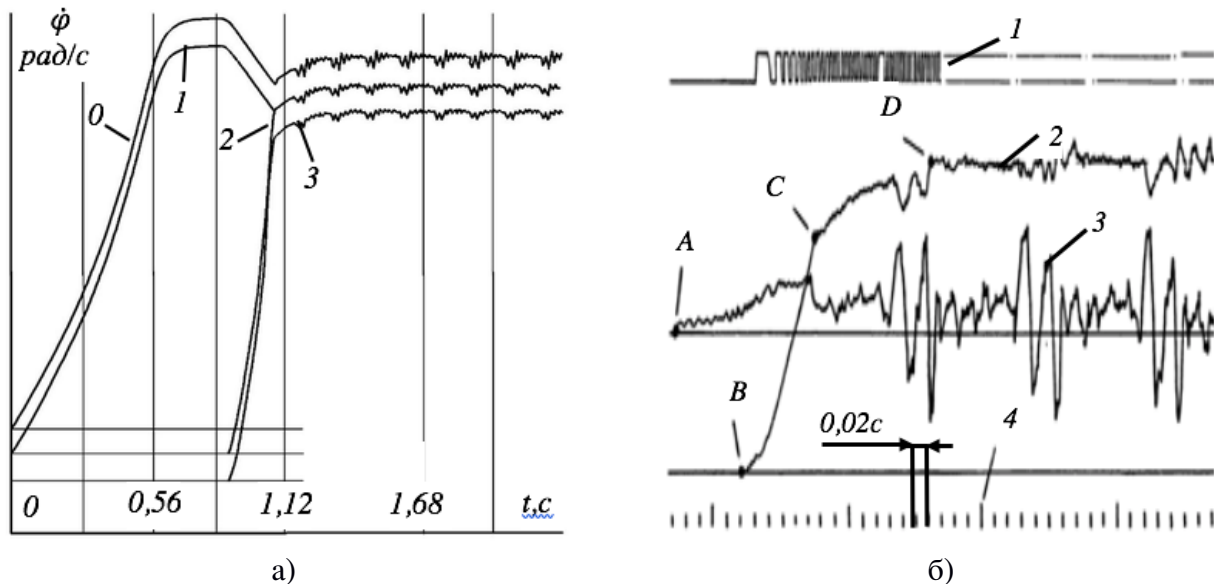


Рисунок 3 – а) График изменения скоростей звеньев 0-3 модели на рисунке 2; б) Экспериментальная запись работы привода ткацкой машины СТБ2-216 в режиме пуска с унифицированным энергосберегающим приводом.

Предлагаемая методика расчета параметров работы привода была опробована при проектировании нескольких типов приводов ткацких машин [1]. На рисунке 3.а для примера показаны графики изменения угловых скоростей звеньев модели, полученные в ходе расчетов. Линии 0 – 3 угловые скорости соответствующих звеньев модели. Также получают графики и других параметров работы привода. В ходе их обработки и анализа были подобраны величина и закон изменения момента, развиваемого сцепной муфтой, в зависимости от временных и скоростных требований, предъявляемых к разгону ткацких машин. На их основе был спроектирован и изготовлен унифицированный, энергосберегающий привод для ткацких машин [3]. Он прошел экспериментальные исследования и опытную эксплуатацию на ткацких машинах с разными принципами прокладки уточной нити, которые показали его хорошую работоспособность. Результаты экспериментальных исследований работы унифицированного привода, установленного на ткацкой машине СТБ2-216, представлены на рисунке 3.б. Они

хорошо совпали с теоретическими расчетами. На рисунке 3.б: 1 – отметки положения главного вала машины, 2 – его угловая скорость, 3 – крутящий момент на главном валу в сечении после привода, 4 – отметки времени. Точками на рисунке обозначены: точка *A* – начало контакта шкива-маховика с фрикционом, *B* – начало движения главного вала, *C* – сцепление шкива-маховика с фрикционом, *D* – выход машины на установившийся режим работы.

В результаты проведенных работ предлагается конструкция привода с уменьшенным расходом электроэнергии сцепной муфтой и методика расчета ее работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартынов И.А., Мещеряков А.В., Корнев Б.И. Динамика приводов ткацких машин. – М.: РИО МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2002. – 352с.
2. Динамика машин и управление машинами/Под ред. Г.В. Крейнина. – М.: Машиностроение, 1988. 240 с.
3. Мартынов И.А., Мещеряков А.В. и др. Привод ткацкого станка А.с.1025761 СССР//Б.И. 1982. С.93.

УДК 519.23:620.172

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИАМИДНОЙ НИТИ PROBABILISTIC ESTIMATION OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE POLYAMIDE YARN

Владимир Аркадьевич Наумов
Vladimir A. Naumov

Калининградский государственный технический университет, Россия, Калининград
Kaliningrad state technical University, Russia, Kaliningrad
(e-mail: van-old@mail.ru)

Аннотация: Рассмотрены особенности вероятностной оценки разрывного усилия полиамидной нити линейной плотностью 15,6 текс. Связь между разрывной нагрузкой и удлинением формируется за счет присутствия случайной составляющей в структуре обеих сравниваемых величин. За ее оценку нужно принимать линию, соответствующую центральной оси эллипса рассеяния переменных.

Abstract: Features of the probabilistic assessment of the breaking strength of the polyamide yarn 15,6 tex were considered. The relationship between breaking load and elongation is formed by the presence of a random component in the structure of both compared values. For its estimation it is necessary to take the line corresponding to the Central axis of the ellipse of scattering variables.

Ключевые слова: полиамидная нить, разрывное усилие, удлинение, вероятностные оценки.

Keywords: polyamide yarn, breaking force, elongation, probabilistic estimates.

Проблема определения прочностных характеристик нитей и канатов традиционно привлекает внимание исследователей (см. [1-5] и библиографию). Результаты экспериментов свидетельствуют, что зависимость разрывной нагрузки от материала, типа и диаметра нити (каната) и ряда других параметров является случайной функцией [1, 4]. Например, в [2] было показано различие в процессе растяжения при равномерной и неравномерной нагрузке пучков волокон в нити. Однако прочностные характеристики довольно редко приводятся в недетерминированной форме. Для этого необходимо выполнять массовые опыты при одинаковых контролируемых условиях. Так в [3] эксперимент по разрыву стеклянных нитей на универсальной электромеханической испытательной системе повторялся 60 раз. В этих испытаниях увеличение силы натяжения происходила достаточно медленно, чтобы разрывное

усилие можно было считать статическим. Для разрывной нагрузки возможно применение нескольких известных законов распределения.

Нормальный закон распределения с плотностью

$$f_N(P) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(P-m)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (1)$$

где m – математическое ожидание P , σ – среднее квадратичное отклонение.

Логарифмически-нормальный закон распределения с плотностью

$$f_L(P) = \frac{1}{P \cdot \delta \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(\ln(P) - \mu)^2}{2\delta^2}\right]. \quad (2)$$

Закон Вейбулла-Гнеденко проявляется в объектах, разрушение которых определяется предельным отклонением (модель слабого звена) [1]; плотность распределения ($P \geq 0$):

$$f_V(P) = \frac{k}{\lambda} \cdot \left(\frac{P}{\lambda}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{P}{\lambda}\right)^k\right]. \quad (3)$$

Затруднительно априорно оценить, какая из моделей адекватно описывает разрывную нагрузку как случайную величину. В [5] было установлено, что данные выборки [3] не противоречат гипотезам о распределении разрывной нагрузки по нормальному, логарифмически-нормальному или закону Вейбулла-Гнеденко. Причем наименьшее отклонение экспериментальных точек от теоретической плотности распределения получается при использовании последнего.

В данной статье методика [5] применена для оценки пригодности перечисленных законов распределения к разрывной нагрузке P полиамидной нити (ПАН), а так же изучена стохастическая связь между P и относительным удлинением при разрыве ε . В качестве исходных данных были использованы результаты испытаний технической ПАН линейной плотностью 15,6 текс, выполненные на лабораторной установке Калининградского государственного технического университета (КГТУ) [4]. Длина образцов $L = 0,5$ м. Объем выборки $N = 80$.

По выборке были рассчитаны точечные оценки параметров генеральной совокупности: разрывное усилие $\bar{P} = 8,18 \text{ Н}$; $\bar{\sigma}_P = 0,78 \text{ Н}$; относительное удлинение в момент разрыва $\bar{\varepsilon} = 23,88\%$; $\bar{\sigma}_\varepsilon = 2,90\%$. Коэффициенты вариации

$$C_P = 100 \cdot \bar{\sigma}_P / \bar{P} = 9,6\%; \quad C_\varepsilon = 100 \cdot \bar{\sigma}_\varepsilon / \bar{\varepsilon} = 12,1\%. \quad (4)$$

В формулу плотности распределения (1) подставлялись значения \bar{P} , $\bar{\sigma}_P$. Параметры распределения (2) и (3) были найдены методом моментов, соответственно: $\mu = 2,097$; $\delta = 0,095$ и $k = 12,75$; $\lambda = 8,51$.

Для проверки гипотез о распределении разрывного усилия по одному из законов (1)-(3) был использован модифицированный критерий Пирсона с увеличивающейся длиной интервалов (табл. 1). Ne_j – количество опытов с попаданием P в интервал $[a_j, b_j]$; $ne_j = Ne_j / N$ – частота попаданий. Теоретическая частота попадания в j -й интервал:

$$nt_j = N \cdot p\{a_j < P < b_j\} = N \cdot \int_{a_j}^{b_j} f(P) \, dP \quad (5)$$

Таблица 1 – Результаты расчет эмпирической и теоретической частоты

| № интервала | Границы интервалов $[a_j, b_j]$ | Эмпирическая частота | | Теоретическая частота, nt_j , рассчитанная по плотности распределения | | |
|-------------|---------------------------------|----------------------|--------|---|----------|----------|
| | | Ne_j | ne_j | $f_V(P)$ | $f_N(P)$ | $f_L(P)$ |
| 1 | [0; 7,3] | 10 | 0,125 | 0,131 | 0,131 | 0,126 |
| 2 | (7,3; 7,7] | 10 | 0,125 | 0,111 | 0,140 | 0,153 |
| 3 | (7,7; 8,0] | 8 | 0,100 | 0,121 | 0,139 | 0,148 |
| 4 | (8,0; 8,3] | 12 | 0,150 | 0,151 | 0,152 | 0,153 |
| 5 | (8,3; 8,5] | 9 | 0,113 | 0,110 | 0,098 | 0,094 |
| 6 | (8,5; 8,75] | 12 | 0,150 | 0,133 | 0,108 | 0,101 |
| 7 | (8,75; 9,0] | 8 | 0,100 | 0,111 | 0,086 | 0,078 |
| 8 | (9,0; $+\infty$) | 11 | 0,138 | 0,132 | 0,147 | 0,146 |
| Σ | | 80 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

$$\chi^2 = N \cdot \sum_{j=1}^8 \left(nt_j - ne_j \right)^2 / nt_j \quad (6)$$

Критические значения статистики Пирсона, рассчитанные в [5] при рассматриваемых условиях: $\chi_{кр}^2(0,02) = 13,40$; $\chi_{кр}^2(0,05) = 11,05$; $\chi_{кр}^2(0,1) = 9,21$. Критические значения статистики Пирсона, рассчитанные в [6] при рассматриваемых условиях: $\chi_{кр}^2(0,02) = 13,40$; $\chi_{кр}^2(0,05) = 11,05$; $\chi_{кр}^2(0,1) = 9,21$. В табл. 2 для трех законов распределения при указанных уровнях значимости $\chi^2 < \chi_{кр}^2$. Для разрывной нагрузки ПАН предпочтительнее использовать закон распределения Вейбулла-Гнеденко. На рис. 1 приведена эмпирическая и теоретическая функция распределения.

Таблица 2 – Результаты расчета статистики Пирсона χ^2

| Рассчитанный параметр | Закон распределения | | |
|-----------------------|---------------------|------------|---------------------------|
| | Вейбулла-Гнеденко | нормальный | логарифмически-нормальный |
| χ^2 | 1,398 | 3,465 | 5,104 |

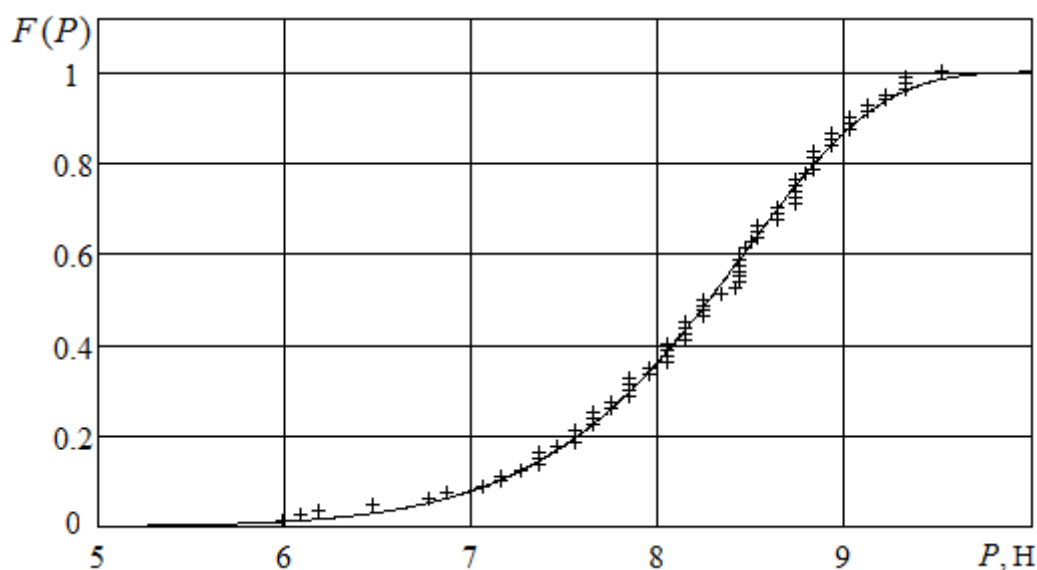


Рисунок 1 – Функция распределения разрывного усилия полиамидной нити. Точки – эмпирическая, линия – теоретическая (Вейбулла-Гнеденко)

По нормативному документу (ГОСТ 15897-9. Нить полиамидная для технических тканей) ПАН 15,6 текс (марка С пологой крутки) должна выдерживать удельное усилие не менее 510 мН/текс, что соответствует $P_0 = 7,956$ Н. Найдем вероятность того, что требование ГОСТа будет выполнено у данных образцов ПАН:

$$p\{P \geq P_0\} = 1 - F(P_0) = 0,657 \quad (7)$$

Оценим стохастическую связь между разрывным усилием нити P и соответствующим ему относительным удлинением ε . Рассчитанное значение коэффициента парной корреляции между ними $r = 0,705$ считается значимым. Основным способом отображения стохастической связи между случайными величинами является построение регрессионных зависимостей. Однако данная методика не может быть применена в условиях, когда обе сопоставляемые величины носят случайный характер. Способы описания статистических зависимостей в указанных условиях были проанализированы в [6] применительно к гидрологическим явлениям. В рассматриваемой задаче и P , и ε , являются случайными величинами.

Так как связь формируется за счет присутствия случайной составляющей в структуре обеих сравниваемых величин, то за ее оценку нужно принимать линию, соответствующую центральной оси эллипса рассеяния переменных [6]. Эта линия занимает среднее положение между регрессиями ε по P (8) и P по ε (9), описывается уравнением (10) (см. рисунок 2).

$$\varepsilon = \bar{\varepsilon} + r \cdot (P - \bar{P}) \cdot \sigma_{\varepsilon} / \sigma_P, \quad (8)$$

$$P = \bar{P} + r \cdot (\varepsilon - \bar{\varepsilon}) \cdot \sigma_P / \sigma_{\varepsilon}, \quad (9)$$

$$\varepsilon = \bar{\varepsilon} + (P - \bar{P}) \cdot \sigma_{\varepsilon} / \sigma_P, \quad (10)$$

Особенность приведенного уравнения (10) заключается в том, что оно характеризует связь не исходных величин, а их детерминированных составляющих.

Для определения прочностных характеристик, например, эффективного модуля упругости каната (нити), следует использовать зависимость (10), а не (8) или (9).

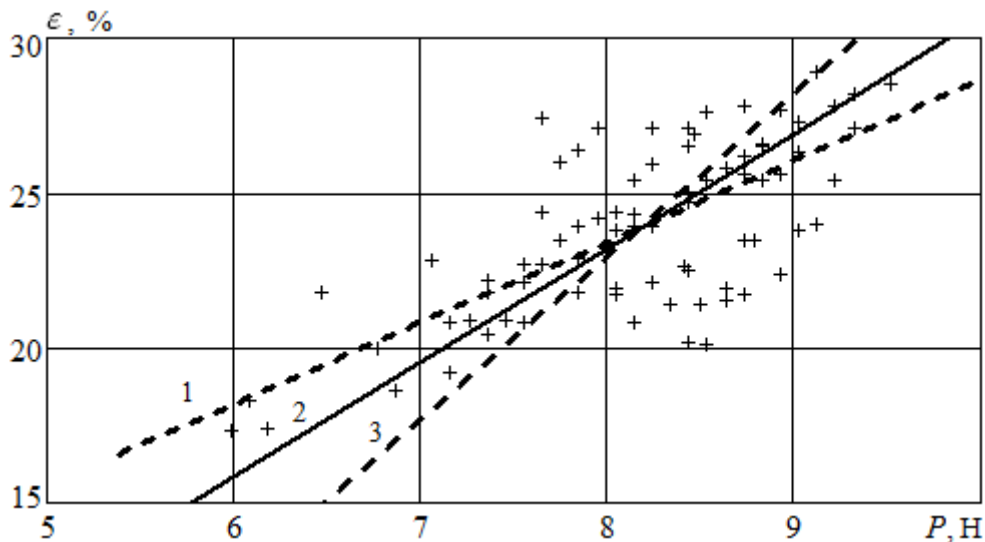


Рисунок 1 – Связь между разрывным усилием нити P и соответствующим ему относительным удлинением. Точки – опытные данные; 1, 2 и 3 – результаты расчетов по формулам (8), (9) и (10), соответственно

Заключение

Зависимость разрывной нагрузки от материала, типа и диаметра нити является случайной функцией. Для результатов исследования разрывных характеристик образцов одной и той же нити, можно применить модель случайной величины. В исследованном случае наиболее подходящим законом для разрывной нагрузки полиамидной нити оказалось

распределение Вейбулла-Гнеденко. Так как связь между разрывной нагрузкой и относительным удлинением формируется за счет присутствия случайной составляющей в структуре обеих сравниваемых величин, то за ее оценку нужно принимать линию, соответствующую центральной оси эллипса рассеяния переменных.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-48-390004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Щербаков В.П.* Прикладная и структурная механика волокнистых материалов: монография. Москва: Тисо Принт, 2013. – 304 с.

2. *Степанкин А.А., Максимкин А.В., Чуков Д.И., Чердынцев В.В.* Опыт исследования механических свойств высокопрочного волокна на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6 [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10755>.

3. *Лобанов Д.С., Темерова М.С.* Особенности квазистатических испытаний нитей и тканей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2013. № 2. С. 96-109.

4. *Великанов Н.Л., Наумов В.А.* Гидродинамическое сопротивление систем из стержней и нитей: монография. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2015. – 192 с.

5. *Ахмедов И.М., Наумов В.А.* О законе распределения разрывной нагрузки нити // Вестник науки и образования Северо-Запада России: электронный журнал. 2017. Т. 3, № 3. С.72-79. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2017/09/2017-N3-AhmedovNaumov.pdf>

6. *Иванов Е.Г.* Об особенностях формирования и способах описания статистических зависимостей в гидрологии // Водное хозяйство России. 2007. № 2. С. 22-26.

УДК: 677.021

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЬНЯНОЙ ПРЯЖИ ПУТЕМ СОВМЕЩЕНИЯ ВЬЮРКОВОГО СПОСОБА СО СПОСОБОМ PAVENA TECHNOLOGY FOR PRODUCING LINEN YARN THROUGH THE COMPOUND OF THE BRAMBLING METHOD WITH THE METHOD OF PAVENA

Павел Николаевич Рудовский*, Ирина Сергеевна Белова**
Pavel N. Rudovsky*, Irina S. Belova**

**Костромской государственный университет, Россия, Кострома*
Kostroma State University, Russia, Kostroma
(e-mail: pavel_rudovsky@mail.ru)

***Муниципальное бюджетное учреждение лицей №17, Россия, Кострома*
Municipal budgetary institution lyceum №17, Russia, Kostroma
(e-mail: belova_irina44@mail.ru)

Аннотация: В статье проведен анализ современных способов получения льняной пряжи. Показано, что способы прядения альтернативные кольцевому не позволяют получить пряжу, сравнимую с последним по качеству. Для повышения прочности пряжи предложено совместить вьюрковый способ на основе аэродинамических крутильных устройств со способом Pavena.

Abstract: The article analyzes the modern methods of producing flax yarn. It is shown that alternative spinning methods do not allow yarns comparable to the latest in quality. To increase the strength of the yarn, it was proposed to combine the reel method based on aerodynamic torsion devices with the Pavena method.

Ключевые слова: льняная пряжа, прочность, скорость выпуска, проклеивание, вьюрки, крутка, серицин.

Keywords: linen yarn, strength, release rate, sizing, twist finger, twist, sericin.

Кольцевой способ прядения имеет низкую скорость выпуска, что связано с ограничением частоты вращения веретен. Особенно это проявляется при мокром прядении льна, где частота вращения веретен не превышает 6000 мин⁻¹. Одним из основных направлений, позволяющих повысить скорость выпуска пряжи, а значит и производительность оборудования является создание, так называемых, безверетенных способов прядения, при которых процессы формирования пряжи и ее наматывания разделены. Эти способы можно подразделить на два принципиально разных направления.

Первое из них это «прядение со свободным концом», когда крутится не паковка с уже готовой пряжей, а конец формируемой пряжи на который набрасываются новые волокна с одновременным выводом полученной пряжи из зоны формирования. К этому направлению относятся в первую очередь, получившее самое широкое распространение в текстильной промышленности, пневмомеханическое прядение, а также способы Air-Jet, фрикционное прядение Dreff, роторное прядение и др. Пряжа, формируемая на устройствах этого направления хотя и имеет специфическое строение упрочняется в первую очередь за счет действительной крутки, также как и классическая пряжа кольцевого прядения.

Второе направление ориентировано на упрочнение мычки без создания действительной крутки или крутки как таковой. К этому направлению относятся: самокруточное прядение, вьюрковое прядение и способ получения пряжи Ravena [1] в разных модификациях. Отсутствие действительной крутки приводит к существенному снижению прочности пряжи и ее относительного удлинения при разрыве. Следствием этого является ограниченное применение таких пряж, в основном в качестве утка в ткачестве и для получения трикотажных полотен.

Остановимся подробнее на двух последних способах. Вьюрковое прядение реализуется путем установки в зоне между выпускной парой прядильной машины и фрикционным мотальным механизмом вьюрка ложного кручения (рис.1). В качестве последнего чаще всего используется аэродинамическое крутильное устройство (АКУ) [5]. Это связано с тем, что АКУ позволяет создать достаточно высокий крутящий момент и в то же время не требует механического привода. Который усложнил бы конструкцию машины. Поскольку участок от выпускной пары до вьюрка крутится в одну сторону, а от вьюрка до входа на паковку в другую, то действительной крутки пряжа не получает. Ее упрочнение происходит за счет обвивки основной доли волокон кончиками волокон, выходящими на поверхность и наличием участков с остаточной круткой разного направления, которые образуются в силу не стационарности работы крутильного механизма, вызванной изменением длины нити в зоне раскладки мотального механизма.

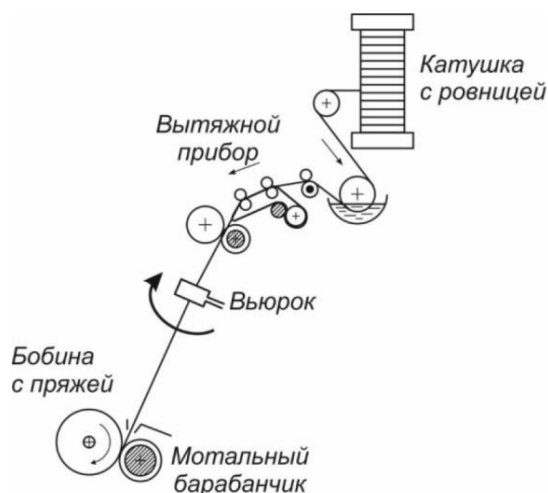


Рисунок 1 – Схема формирования льняной пряжи при вьюрковом способе ее получения

Технология Ravena [2-4] заключается в проклейке волокон в мычке, выходящей из вытяжного прибора. Клей должен быть водорастворимым для его последующего удаления из ткани или трикотажа. Разные модификации технологии отличаются способом введения клея в волокнистую смесь. Клей может вводиться в виде водорастворимых волокон на стадии подготовки смеси или путем пропитки мычки раствором клея. В случае формирования мычки из смеси с водорастворимыми волокнами, мычка пропускается через воду, в результате чего волокна размягчаются и приобретают клеящую способность. В любом варианте этой технологии требуется частичная сушка пряжи перед наматыванием, что требует дополнительных затрат энергии.

Вьюрковый способ прядения был реализован на экспериментальной машине БПМ-200-Л, которая серийно не выпускалась из-за низкой прочности пряжи. Способ Ravena был реализован на серийных машинах, но нашел весьма ограниченное применение, опять же из-за низкой прочности пряжи и необходимости удалять клеевой состав в качестве которого используется ПВА или ПВС из готовой ткани, что требует дополнительных затрат.

Представляется перспективным объединение этих двух способов для получения льняной пряжи при соответствующей их модификации, т.е. формировать пряжу вьюрковым способом с последующей ее проклейкой для упрочнения.

Поскольку при вьюрковом способе прядения льна формирование мычки производится из ровницы, прошедшей химическую обработку в водном растворе и катушка с ровницей располагается в ванне с водой, представляется целесообразным заместить воду клеевым составом. Ровница при ее переработке в пряжу находится в ванне продолжительное время, что обеспечит качественную пропитку ее клеящим составом. В качестве клея необходимо выбрать состав, не снижающий экологические качества готовых изделий и который не требует последующего удаления из готовой ткани или трикотажа. В качестве такого клея можно использовать серицин, входящий в состав натурального шелка [6]. Его получают из неразматываемых отходов шелкомотальных производств и поставляют в виде порошка [7,8]. С точки зрения воздействия на тело человека серицин обладает рядом положительных свойств, т.к. именно он в значительной степени формирует свойства натурального шелка – самого экологически чистого волокна. Поэтому удаление серицина из полученной пряжи не требуется. Это позволит снизить расходы на выработку тканей из пряжи, полученной по предлагаемой технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Salaun H.L., Brown R.S., Lonis G.L. No-twist cotton yarn made from card web. Способ получения некрученой хлопковой пряжи.// Text Res. J.– 1980.– №2.– С. 115-119.
2. Goldberg J.B. 1979 textile research achievements.// Результаты н.и. работ 1979 года./ Text. Ind. (США).– 1980.– №1.– С. 107-113.
3. Motte René. Filature par collage. Формирование пряжи склеиванием волокон.// Ind. text. (Франция).– 1979.– №1095.– С.1097-1102.
4. Davidson Jon V. Yarn spinning has a new twistless. Получение бескруточной пряжи.// Text. World.– 1981.– №10.– С. 75-76.
5. Кузнецова Н.С. Особенности формирования крутки льняной вьюрковой пряжи без разделения зон кручения и намотки/ Н.С. Кузнецова, А.А. Телицын, Л.С. Ильин/ Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2013. - № 1 (343). – С.57–60
6. Ишматов А.Б. Применение серицина для шлихтования основ/ А.Б. Ишматов, П.Н. Рудовский., З.А.Яминова //Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2012. № 6 (342). С. 98-102.
7. Ишматов А.Б. Получение пряжи из отходов шелкомотальных фабрик/ А.Б. Ишматов, П.Н.Рудовский //Вестник Костромского государственного технологического университета. 2012. № 1 (28). С. 18-20.
8. Ишматов А.Б. Обоснование режимов получения серицина в виде порошка для приготовления шлихты/ А.Б. Ишматов, З.А. Яминова, П.Н.Рудовский //Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2015. № 6 (360). С. 79-83.

УДК 677.074

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ
АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**
**OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF A SPATIAL MECHANISM FOR ADDITIVE
TECHNOLOGIES**

Юрий Тихонович Каганов*, **Олег Анатольевич Гарин***, **Сергей Валерьевич Хейло****,
Константин Эдуардович Разумеев**, **Мария Николаевна Ковега***
Juri T. Kaganov*, **Oleg A. Garin***, **Sergey V. Kheylo****,
Konstantin E. Razumeev**, **Marya N. Kovega***

**Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Россия, Москва*

**The Bauman Moscow State Technical University, Russia, Moscow
(e-mail: yurijkaganov@gmail.com)*

***Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow*

Аннотация: Описан манипуляционный механизм параллельной структуры с шестью степенями свободы. Предложена модель оптимизации параметров механизма с целью максимизации рабочей области выходного звена с применением популяционных алгоритмов.

Abstract: Parallel robot with six degrees of freedom is described. A model of optimization of the mechanism parameters is proposed. The objective function - maximum working area.

Ключевые слова: аддитивные технологии, параллельный механизм, оптимизация, 3D оборудование, рабочая зона.

Keywords: additive technologies, parallel mechanism, optimization, 3D equipment, working area.

В настоящее время происходит динамичное развитие аддитивных технологий. Одним из новых видов механизмов для конструирования 3D оборудования и деталей являются робототехнические комплексы, созданные на основе использования манипуляционных механизмов параллельной структуры. Манипуляционные механизмы параллельной структуры с шестью степенями свободы обладают большими функциональными возможностями и представляют интерес для их использования в оборудовании для аддитивных технологий [1].

Важной задачей при разработке манипуляционного механизма является определение максимальной рабочей зоны. В данной статье предложен способ оптимизации параметров механизма при помощи популяционных алгоритмов: генетического и роевого.

В статье представлен манипуляционный механизм 6PRPS (рис. 1).

Рассматриваемый параллельный механизм с шестью степенями свободы включает в себя основание (1), выходное звено (2), представленное в виде параллелепипеда и шесть кинематических цепей (3, 4, 5) [2, 3, 4, 5].

Чтобы оценить эффективность представленной модели с точки зрения объема рабочей зоны выходного звена и оптимизировать параметры механизма так, чтобы получить максимальную рабочую зону, необходимо формализовать задачу следующим образом [5, 6].

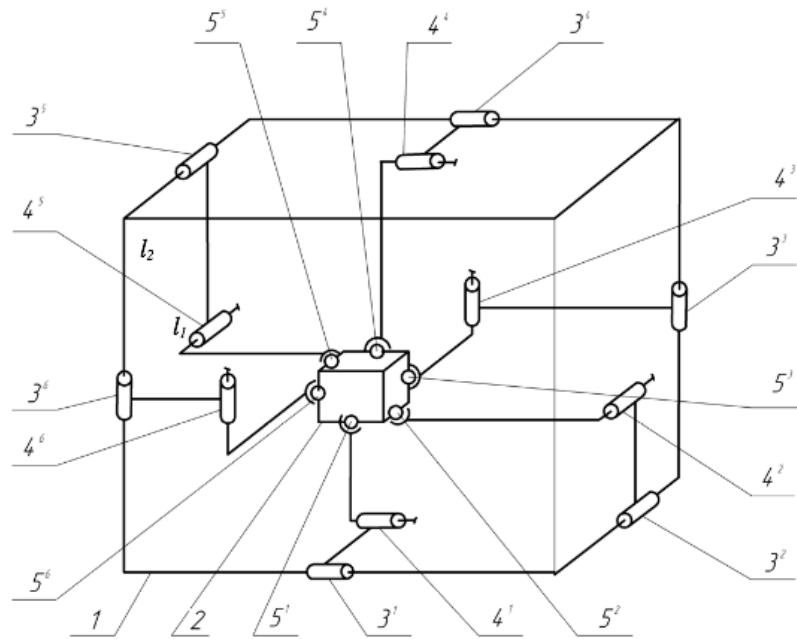


Рисунок 1 – Пространственный механизм с шестью степенями свободы.

Максимальная рабочая зона для симметричной конструкции описывается целевой функцией вида $f(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)$, со следующими параметрами проектирования:

- переменные проектирования — соотношение длин кубов (основания b и выходного звена a),
- обобщенные координаты (координаты актуаторов) — поступательные $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6$,
- переменные состояния (координаты перемещения исполнительного органа) $x_0, y_0, z_0, \alpha, \beta, \gamma$.

Параметр оптимизации – соотношение длин кубов основания b и выходного звена a . Задача моделирования оптимизационной модели характеризуется наличием набора ограничений, накладываемых на параметры проектирования. Ограничения представляют собой следующую совокупность пунктов:

- параметрические ограничения для переменных проектирования $\left(\frac{a}{b}\right)_{min} \leq \frac{a}{b} \leq \left(\frac{a}{b}\right)_{max}$,
- ограничения на обобщенные координаты $q_i^{min} \leq q_i \leq q_i^{max}$;
- функциональные ограничения:
 - ограничения на переменные состояния: $x_0^{min} \leq x_0 \leq x_0^{max}$; $y_0^{min} \leq y_0 \leq y_0^{max}$, $z_0^{min} \leq z_0 \leq z_0^{max}$, $\alpha^{min} \leq \alpha \leq \alpha^{max}$, $\beta^{min} \leq \beta \leq \beta^{max}$, $\gamma^{min} \leq \gamma \leq \gamma^{max}$,
 - дополнительные ограничения (углы в кинетических парах между звеньями): $\theta_j^{min} \leq \theta_j \leq \theta_j^{max}$, где $\theta_j = \theta_j(y)$.

Для определения и оптимизации рабочей зоны манипулятора необходимо произвести следующие действия. При фиксированном значении соотношения сторон кубов, используя генетический алгоритм [7], производится перебор обобщенных координат q , и решается система нелинейных алгебраических уравнений, определяющих положение рабочего органа, что позволяет найти максимальный объем рабочей зоны манипулятора. В основу алгоритма положена теория эволюции, согласно которой популяция особей меняется в течение нескольких поколений путем скрещивания и мутации отдельных особей, подчиняясь при этом законам естественного или искусственного отбора относительно предписанного критерия. В качестве функции фитнеса берется следующая функция:

$$V = \sum_{i \neq j} (y_i - y_j)^2 \rightarrow \max \quad (1)$$

Далее, необходимо определить, при каком отношении кубов (a и b), с учетом вышеперечисленных ограничений, рабочий орган описывает максимальную рабочую зону. Для этого целесообразно применить роевой алгоритм [7].

Классический роевой алгоритм использует рой частиц, где каждая частица представляет потенциальное решение задачи. Поведение частицы в пространстве решений все время подстраивается в соответствии со своим опытом и опытом своих соседей. Кроме этого, каждая частица помнит свою лучшую позицию с достигнутым локальным лучшим значением фитнес-функции и знает наилучшую позицию частиц - своих соседей, где достигнут глобальный на текущий момент оптимум. Глобальный лучший результат известен всем частицам и немедленно корректируется в том случае, когда некоторая частица роя находит лучшую позицию.

Таким образом, для предложенного пространственного механизма с шестью степенями свободы, формализована задача для оптимизации модели пространственного параллельного механизма для аддитивных технологий. Описаны популяционные алгоритмы, позволяющие найти оптимальное решение задачи с целью нахождения максимальной рабочей зоны манипулятора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазунов В.А., Хейло С.В., Разумеев К.Э. Применение поступательно-направляющего механизма параллельной структуры с тремя степенями свободы для аддитивных технологий. В сборнике: Роль фундаментальных исследований при реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года Сборник докладов III Всероссийской научно-технической конференции. ФГУП «ВИАМ». 2016. С. 8.
2. Хейло С.В, Глазунов В.А., Гарин О.А. Патент на полезную модель №176040. Пространственный механизм с шестью степенями свободы. бюл. №36. 27.12.2017.
3. Хейло С.В., Глазунов В.А., Палочкин С.В. Манипуляционные механизмы параллельной структуры. Структурный синтез. Кинематический и силовой анализ. — М.: ФГБОУВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2011. — 153 с.
4. Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. — М.: Наука, 1991. – 95 с.
5. Кун С., Госселин К. Структурный синтез параллельных механизмов. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. — 276 с.
6. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. — М.: МИР, 1985. — 509 с.
7. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы вдохновленные природой. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. -- 446 с.

УДК 621.039.3; 66.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОКРАТНОГО РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ЭФФЕКТА ДЕЙТЕРИЙ-ПРОТИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РАВНОВЕСИЯ ЖИДКОСТЬ-ПАР ВОДНЫХ РАСТВОРОВ МОЧЕВИНЫ

SINGLE SEPARATION EFFECTS OF DEUTERIUM-PROTIUM INVESTIGATION AT VAPOR-LIQUID EQUILIBRIUM IN UREA AQUEOUS SOLUTIONS

**Егор Владимирович Лупачев, Андрей Владимирович Полковниченко,
Валентин Александрович Лотхов, Николай Николаевич Кулов
Egor V. Lupachev, Andrei V. Polkovnichenko, Valentin A. Lotkhov, Nikolai N. Kulov**

*Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН,
Москва, Россия
Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia
(e-mail: egorlu91@gmail.com)*

Аннотация: Экспериментально изучен изотопный разделительный эффект дейтерий – протий при фазовом равновесии в системе водяной пар – водный солевой раствор. В качестве разделяющего агента выбран карбамид. Приведены зависимости коэффициента разделения $\alpha_{D/H}$ от концентрации карбамида в жидкой фазе. Показано, что с ростом концентрации разделяющего агента, коэффициент относительной летучести $\alpha_{D/H}$ увеличивается. Известная из литературы тенденция к росту значения $\alpha_{D/H}$ при понижении температуры в присутствии карбамида сохраняется.

Abstract: Experimentally was studied isotopic separation effect at phase equilibrium deuterium-protium in water vapor – water salt solution system

. Urea was used as separation agent. It was found that a separation coefficient $\alpha_{D/H}$ grow up with urea concentration in liquid phase. Known from literature tendency of increasing of the $\alpha_{D/H}$ value at temperature decrease is saved at the presence of the urea.

Ключевые слова: разделение изотопов, фазовое равновесие, солевая ректификация
Keywords: salt rectification, phase equilibrium, isotope separation

В настоящее время актуальной становится задача интенсификации процесса разделения изотопов водорода при ректификации природной воды, поскольку процесс этот экологически чистый и безопасный, а запас целевых изотопов практически неисчерпаем.

Целью настоящей работы является экспериментальное изучение однократного разделительного эффекта ($\alpha_{D/H}$) между дейтерием (D) и протием (H) при равновесии в системе водяной пар – водно-солевой раствор, чтобы отыскать эффективный разделяющий агент для экстрактивной солевой ректификации [1].

Известно, что с увеличением температуры в системе вода – водяной пар коэффициент разделения изотопов водорода $\alpha_{D/H}$ в диапазоне температур от 0 до 100 °С снижается с 1,112 до 1,027. Величина коэффициента относительной летучести между дейтерием и протием рассчитывается по уравнению (1):

$$\alpha_{D/H} = \frac{(D/H)_L}{(D/H)_V} \quad (1)$$

где D/H – отношение равновесных атомных концентраций изотопов в жидкости (L) и в паре (V).

Поиск эффективного солевого агента для разделения изотопов водорода показал, что в рабочем диапазоне температур для ряда водных растворов минеральных солей значение коэффициента относительной летучести $\alpha_{D/H}$ снижается с увеличением концентрации соли, а

пар, в свою очередь, в большей степени обогащен дейтерием по сравнению с соответствующим значением для чистой воды.

В работах [3,4] было рассмотрено влияние карбамида на значение $\alpha_{D/H}$ при 15 и 25 °С, показанное на рисунке 1. На графике для сравнения приведены значения $\alpha_{D/H}$ для чистой воды.

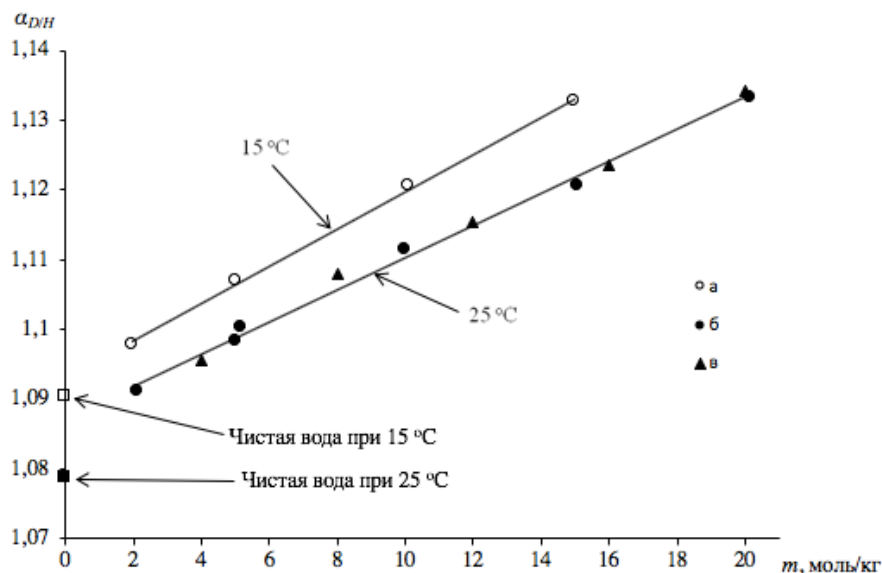


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента относительной летучести $\alpha_{D/H}$ от моляльности раствора карбамида при 15 и 25 °С. а – при 15 °С по данным работы [3], б – при 25 °С по данным работы [3], в – при 25 °С по данным работы [4]; $\alpha_{D/H}$ для чистой воды из работы [2].

Из рисунка 1 следует, что значение коэффициента относительной летучести $\alpha_{D/H}$ в присутствии карбамида растет с ростом концентрации соли. Таким образом, карбамид может выступать в качестве потенциального солевого агента для разделения изотопов D/H в процессе ректификации природной воды.

В настоящей работе эксперименты по определению фазового равновесия в системе водяной пар – раствор карбамида проводили на модифицированном кубе Бушмакина в диапазоне температур от 59 до 92 °С. Для приготовления растворов использовали дистиллированную воду с природным содержанием дейтерия (140-145 ppm). Изотопный анализ проб проводили на спектральном жидкостном изотопном анализаторе «Т-LWA-45-EP», предназначенном для анализа воды на уровне природного содержания изотопов с погрешностью измерения $\pm 0,0001$ ат. % (1 ppm). Для изученных нами водно-солевых растворов анализировали состав парового конденсата внутреннего и внешнего контуров куба Бушмакина, а также исходного дистиллята. Состав кубовой жидкости рассчитывали по материальному балансу.

Экспериментально полученные нами значения $\alpha_{D/H}$ в зависимости от концентрации карбамида представлены на рис. 2. Для сравнения сплошной линией показаны значения $\alpha_{D/H}$ для чистой воды, рассчитанные по уравнению работы [2].

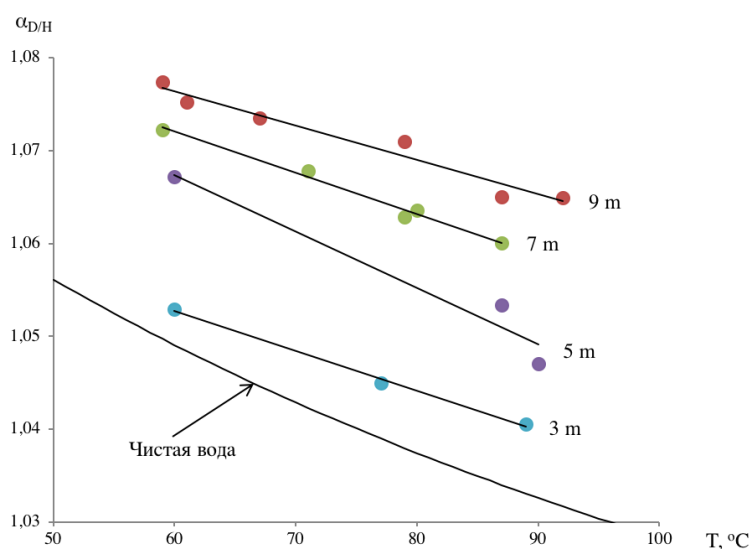


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента относительной летучести $\alpha_{D/H}$ от рабочей температуры для 3,5,7 и 9 моляльных растворов карбамида. Сплошной линией показаны значения $\alpha_{D/H}$ для чистой воды определенные по формуле работы [2].

Из рисунка 2. нетрудно убедиться, что наличие карбамида существенно повышает коэффициент относительной летучести $\alpha_{D/H}$ по сравнению с чистой водой. С ростом концентрации соли в растворе при постоянной температуре значение $\alpha_{D/H}$ увеличивается, а с понижением температуры раствора, при постоянной концентрации соли сохраняется характерная для чистой воды тенденция к увеличению коэффициента разделения.

Полученные нами данные могут быть использованы при разработке метода расчета технологического процесса разделения изотопов.

Выводы

Предпринятое в настоящей работе исследование разделения природной воды для условий вакуумной солевой ректификации является одной из первых попыток в данной области. Поэтому, поиск подходящих солевых агентов для разделения изотопов водорода производился экспериментальным путем.

Найден разделяющий агент – карбамид, который по полученному однократному разделительному эффекту следует считать эффективным.

Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 18-13-00475)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Furter W. F. Extractive distillation by salt effect // Chem. Eng. Comm.1992. V. 116. P. 35.
2. Horita J., Wesolowski D. J. Liquid-vapor fractionation of oxygen and hydrogen isotopes of water from the freezing to the critical temperature // Geochimica and Cosmochimica Acta, 1994. V. 58, № 16. P. 3425.
3. Kakiuchi M. and Matsuo S. Fractionation of hydrogen and oxygen isotopes between hydrated and free water molecules in aqueous urea solution // J. Phys. Chem. 1985. V. 89, P. 4627.
4. Kakiuchi M. Distribution of isotopic water molecules, H₂O, HDO, and D₂O, in vapor and liquid phases in pure water and aqueous solution systems // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2000. V. 64, No. 9, P. 1485.

УДК 677.022:519.6

**ВОЗМОЖНОСТИ СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА В
ИССЛЕДОВАНИЯХ НЕРОВНОТЫ ОДНОМЕРНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ ПРОДУКТОВ
SINGULAR SPECTRAL ANALYSIS RESOURCES IN RESEARCHES
OF UNEVENNESS OF ONE-DIMENSIONAL FIBER PRODUCTS**

**Петр Алексеевич Севостьянов
Petr A. Sevostyanov**

*Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: petrsev46@yandex.ru)*

Аннотация: Рассмотрены некоторые особенности сушки нетканых клеёных материалов, приведены результаты экспериментального исследования свойств материала как объекта сушки и кинетики его конвективной сушки в лабораторных условиях.

Abstract: Some features of the drying process of nonwoven laminated materials were researched, the results of experimental study of the properties of the material as an object of drying and the kinetics of its convective drying in laboratory conditions were shown.

Ключевые слова: нетканые клеёные материалы, объект сушки, кинетика сушки.

Keywords: nonwoven laminated materials, the drying object, the drying kinetics.

Сингулярный спектральный анализ (ССА; английский термин Singular Spectral Analysis - SSA), известен также как «метод гусеницы» (по-английски caterpillar) по специфическому нелинейному преобразованию исходных данных, который в нем применяется [1,2].

ССА применяют к одномерным или многомерным временным рядам. В результате исходный временной ряд разделяется на сумму отдельных компонентов, определяющих структуру временного ряда. Эти компоненты описывают монотонные, периодические, сезонные составляющие ряда, взаимосвязь между ними и позволяют решать задачи прогнозирования. ССА относится к непараметрическим методам обработки данных, поскольку он не нуждается в заранее определенном типе модели временного ряда [3].

ССА использует известный метод статистического анализа многомерных данных - метод главных компонент. Для его применения одномерный временной ряд преобразуется в матрицу многомерных данных. Для этого применяют метод скользящей выборки, получивший название «гусеницы». Тем самым искусственно создаются многомерные данные, которые подвергают компонентному анализу. Для этого строят корреляционную матрицу. Собственные векторы этой матрицы образуют ортогональный базис, в котором и представляют данные. Проекция данных на базисные векторы описывают элементы структуры исходного ряда.

Представление исходного временного ряда в виде разложения по базисным векторам корреляционной матрицы допускает и иную интерпретацию, отличную от традиционных представлений компонентного анализа. А именно, его можно рассматривать как дискретную линейную фильтрацию данных, в результате которой выделяются отдельные составляющие ряда.

Идеи метода ССА возникли в начале 60-х годов, но получили развитие с появлением доступных и мощных ЭВМ с развитыми интерактивными средствами общения между пользователем и компьютером.

Для удобства проведения такого анализа и его частичной автоматизации были разработаны компьютерные программы. Примером такой программы может служить CaterpillarSSA (version 3.30), разработанная фирмой GistaT Group.

Для проверки возможностей применения ССА к анализу неровноты продуктов прядения и других одномерных и двумерных продуктов [4,5,6,7] с помощью этой программы были проанализированы пробные варианты временных рядов. Все они получены методом генерации в Matlab, затем скопированы в таблицы Excel, из которых загружены в программу CaterpillarSSA. Длина всех временных рядов была одинакова и составляла $N = 1000$ значений для $t = 0, \dots, 999$. Для их получения использованы следующие математические модели

1) модель линейного тренда с аддитивным нормальным белым шумом

$$X_{trend}(t) = 0.01t - 5 + \xi(t); \quad \xi(t) \sim N(m=0; s=3)$$

модель гармонического колебания с аддитивным нормальным белым шумом

$$X \cos(t) = \cos\left(\frac{2\pi t}{T_c}\right) + \xi(t); \quad T_c = 23$$

модель суммы двух гармонических колебаний с взаимно простыми периодами и аддитивным нормальным белым шумом

$$X_{sincos}(t) = 4\sin\left(\frac{2\pi t}{T_s}\right) + \cos\left(\frac{2\pi t}{T_c}\right) + \xi(t); \quad T_s = 113; \quad T_c = 23$$

модель белого шума с локальным изменением среднего в виде прямоугольного импульса

$$X_{stepSr}(t) = \begin{cases} 10 + \xi(t), & t=0, \quad 449; \quad t=550, \quad ,999 \\ 12 + \xi(t), & t=450, \quad ,549 \end{cases}$$

модель белого шума с локальным изменением среднеквадратического (стандартного) отклонения (СКО)

$$X_{stepSr}(t) = \xi(t), \quad \text{где} \quad \begin{cases} \xi(t) \sim N(m=0; s=3); & t=0, \quad 449; \quad t=550, \quad ,999 \\ \xi(t) \sim N(m=0; s=4); & t=450, \quad ,549 \end{cases}$$

Выбор перечисленных моделей очевиден. Желательно выяснить возможности ССА для выявления монотонных, периодических и импульсных вариаций во временных рядах.

Поскольку программа CaterpillarSSA предоставляет пользователю большое число различной информации по результатам ССА в графической и/или табличной форме, то приведем лишь некоторые из них. Во всех примерах $M = 500$. Результаты применения ССА к модели 3 представлены ниже в виде графиков.

Рисунок 1 отображает временной ряд модели 3, у которой на фоне случайных вариаций белого шума можно увидеть особенность модели - периодические колебания. На рис.2 приведены кривые нарастания суммы собственных значений корреляционной матрицы. Эти значения упорядочены по величине от наибольшего значения к наименьшему. На рис.3 приведены три графика, изображающие фазовые портреты для пар собственных функций: 1-й и 2-й, 2-й и 3-й, и 3-й и 4-й функций. Эти фазовые портреты сильно отличаются друг от друга как в пределах одной модели, так и между моделями. Как это подтверждается и другими авторами, такой способ обработки и представления результатов ССА является наиболее чувствительным к особенностям временного ряда. Вместе с тем интерпретация получаемых фазовых портретов далеко не всегда однозначная и очевидная. Для моделей 2 – 5 на основе первых 4-х собственных функций получены сглаженные реализации временных рядов, из которых видно, что сохранение лишь первых главных компонентов позволяет исключить случайные вариации, связанные с белым шумом. Однако не все детерминированные особенности ряда проявляются в этих сглаженных рядах. В частности, не удастся обнаружить локальные изменения среднего уровня и дисперсии значений исходного ряда.

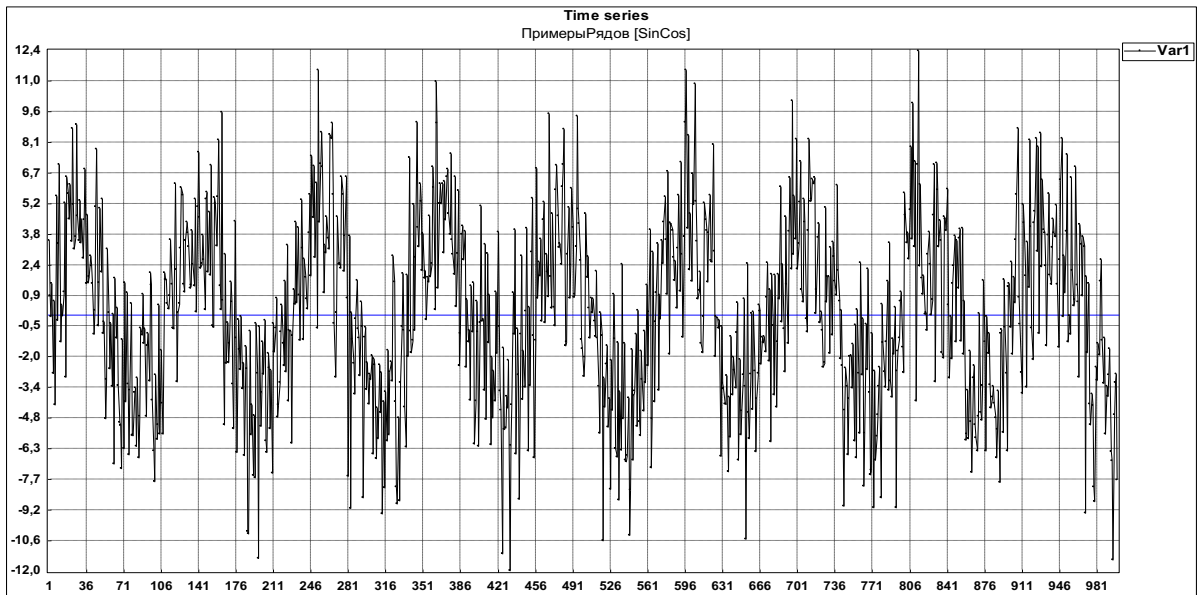


Рисунок 1 – Реализация временного ряда, модель 3.

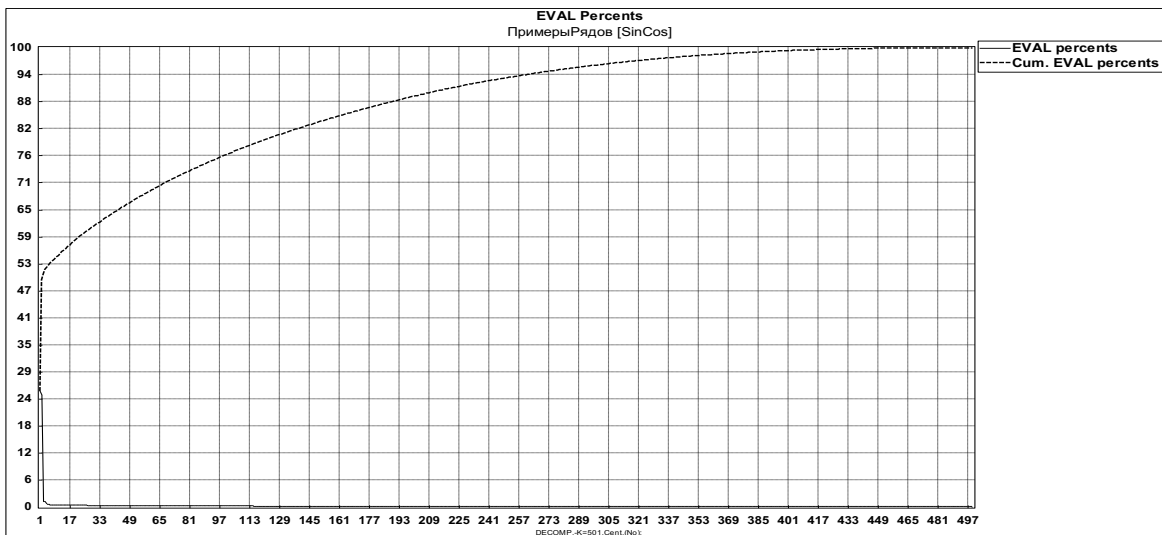


Рисунок 2 – Накопленная сумма собственных значений корреляционной матрицы

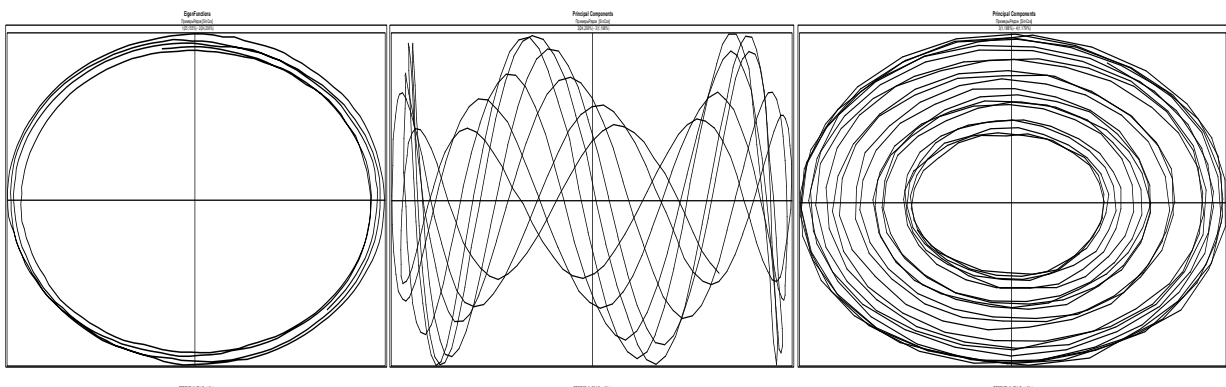


Рисунок 3 – Фазовые портреты первых собственных функций

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Ф.И., Голяндина Н.Э. Автоматизация выделения трендовых и периодических составляющих временного ряда в рамках метода «Гусеница» - SSA. EXPONENTA PRO, Математика в приложениях МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ, ПРОГРАММЫ. - #3-4 (7-8) 2004. – С.54-61.
2. Голяндина Н.Э., Шлемов А.Ю. Повышение точности SSA-прогноза зашумленного сигнала за счет увеличения порядка линейной рекуррентной формулы // Труды IX Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'12, Москва, 30 января – 2 февраля 2012 г.
3. Севостьянов П.А., Ордов К.В. Основы анализа и моделирования данных в технике и экономике. – М.: «Тисо Принт», 2015. – 412 с
4. Севостьянов П.А. Сингулярный спектральный анализ неравномерности структуры тканых полотен / П.А. Севостьянов, Е.А. Баландин, Т.С. Бутенко //Изв. вузов, Технология текстильной промышленности. – 2010. - №3 (324). – С.112-116. Библиогр.: с.116 (5 назв.) – ISSN 0021-3497
5. Севостьянов П.А. Взаимосвязь между неровнотой пряжи и неровнотой ткани. Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1971. №4.
6. Севостьянов П.А. Исследование сложения волокнистых потоков методом статистического моделирования. Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1979. №5.
7. Севостьянов П.А. Исследование неравномерности по линейной плотности при делении потоков волокнистого материала. Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1988. №2.

УДК 677.022:519.876.5

**СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ
И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РЫХЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**
**MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES IN RESEARCH AND OPTIMIZATION OF
PROCESSES OF LOOSENING AND CLEANING OF ECOLOGICAL TEXTILE
MATERIALS**

**Петр Алексеевич Севостьянов, Татьяна Алексеевна Самойлова,
Владимир Иванович Монахов, Мария Львовна Тихомирова, Денис Андреевич Забродин**
**Petr A. Sevostyanov, Tatiana A. Samoiloa, Vladimir I. Monakhov,
Maria L. Tikhomirova, Denis A. Zabrodin**

*Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: petrsev46@yandex.ru)*

Аннотация: Разработаны методика моделирования, алгоритм и программная реализация в среде Matlab статистического моделирования, имитирующего процесс деления клочков волокнистого материала. Если законы распределения отличаются от нормального, что типично для реальных распределений клочков и других разделяемых материалов, то законы распределения получаемых клочков могут сильно варьировать по форме.

Abstract: There were designed the method of modeling, algorithm and statistical modeling software implementation in Matlab for simulation the process of dividing tufts of fibers. If the tuft distribution differ from the normal, that is typical for real distributions of tufts and other breaking portions of materials, distribution of the resulting tufts can vary greatly in form.

Ключевые слова: клочки, деление, распределение, имитационное моделирование.
Keywords: tufts, breaking, distribution, simulation.

Деление материальных потоков и элементов, образующих поток, происходит во многих технологических процессах самых различных отраслей. В некоторых случаях деление является одной из основных задач процесса, в других оно сопутствует выполнению задачи процесса [1]. Процессы деления клочков волокон всегда сопровождаются разрыхлением и выделением сорных примесей. Для выработки качественной пряжи необходимо сначала отобрать из кип клочки волокнистого материала, измельчить и уменьшить их плотность, отделить сорные примеси. Все эти процессы сопровождаются делением исходных клочков на более мелкие клочки вплоть до отдельных волокон.

Практически всегда материальные потоки описываются числовыми показателями, которые имеют вероятностную природу. Деление потока приводит к изменению вероятностных параметров этих показателей. Знание этих изменений позволяет оптимизировать режим технологического процесса. Однако, если изменение простейших числовых параметров, например, математических ожиданий или дисперсий, оценивается более или менее просто, то изменения законов распределения оценить аналитически в большинстве случаев сложно или невозможно. Поэтому единственным способом получения таких оценок является использование современных информационных технологий, в частности, статистического моделирования процесса деления [2]. В базовой работе А.Н. Колмогорова [3] по дроблению частиц рассматривается асимптотика идеализированного многократного процесса деления. Эта схема далеко не всегда адекватна реальным процессам деления. Ниже рассматриваются некоторые актуальные постановки и решения данной задачи [4,5,6,7].

Рассмотрим порцию материального потока, которая описывается величиной g . Для определенности, будем считать, что g – масса клочка в потоке волокнистого материала. Клочок подвергается многократному делению в процессах рыхления очистки. Однако, в каждом отдельном акте деления клочок разделяется на две части с массами $g_1 = pg$ и $g_2 = (1 - p)g$. Доля p массы исходного клочка в одной из его образовавшихся при делении частей, очевидно, лежит в пределах от нуля до единицы и, как правило, является случайной, как и масса исходного клочка g . Если g и p независимы, то математические ожидания равны

$$Mg_1 = MpMg; \quad Mg_2 = (1 - Mp)Mg$$

Для других числовых параметров случайных величин, как и для случая зависимых g и p расчетные формулы зависят от их законов распределения. Поэтому имеет смысл сразу выполнить статистическое моделирование этих случайных величин и процесса деления.

В таблице приведены варианты условий моделирования деления клочка на две части, причем для g и p выбраны достаточно сильно отличающиеся виды распределений $Distr_g$ и $Distr_p$: нормальное N , равномерное Un и экспоненциальное Ex . Параметры нормального и равномерного распределения для g и p подобраны так, чтобы они имели одинаковые средние и коэффициенты вариации. Тем самым в эксперименте в большей степени проявится влияние формы распределения. В каждом варианте имитировалось деление $n = 10^5$ клочков, что более чем достаточно для получения статистически надежных оценок распределений g_1 и g_2 и их параметров.

Таблица 1 – План статистического эксперимента 1

| Вар. | $Distr_g$ | Параметры $Distr_g$ | $Distr_p$ | Параметры $Distr_p$ |
|------|---------------|------------------------|---------------|-------------------------|
| 1 | $N(gSr, CVg)$ | $gSr = 1; CVg = 0,1$ | $Un(a; b)$ | $a = 0; b = 1$ |
| 2 | $N(gSr, CVg)$ | $gSr = 1; CVg = 0,1$ | $N(pSr, CVp)$ | $pSr = 0,5; CVp = 0,1$ |
| 3 | $Un(Ag, Bg)$ | $Ag = 0,83; Bg = 1,17$ | $Un(a; b)$ | $a = 0; b = 1$ |
| 4 | $Un(Ag, Bg)$ | $Ag = 0,83; Bg = 1,17$ | $N(pSr, CVp)$ | $pSr = 0,5; CVg = 0,1$ |
| 5 | $Ex(gSr)$ | $gSr = 1 (CVg = 1)$ | $Un(a; b)$ | $a = 0; b = 1$ |
| 6 | $Ex(gSr)$ | $gSr = 1 (CVg = 1)$ | $N(pSr, CVp)$ | $pSr = 0,5; CVg = 0,58$ |

На рисунке 1 приведены гистограммы распределений g_1 для шести рассмотренных вариантов. Гистограммы для g_2 практически такие же. Из приведенных оценок распределений видно, что при делении форма распределения меняется весьма существенно. Равномерный закон распределения долей, на которые разделяется клочок, в сочетании с нормальным распределением массы клочка приводит к трапецидальному распределению массы клочков после деления. Только если обе величины g и p распределены по нормальному закону, такое же распределение и у массы клочков после деления (естественно, с другими параметрами).

При экспоненциальном распределении массы исходных клочков распределение массы клочков после деления также является экспоненциальным независимо от распределения доли p . Известно, что если распределения существенно отличаются от нормального, то в качестве параметров, описывающих среднее значение и рассеяние случайной величины, предпочтительней использовать т.н. робастные показатели, не зависящие от формы распределения. Так, вместо математического ожидания следует использовать медиану, а вместо среднеквадратического отклонения – интердецильный размах. Установленные существенные изменения распределения массы клочков после деления доказывают необходимость применения таких робастных показателей и требуют большой осторожности при построении выводов на основе традиционных показателей нормальной теории.

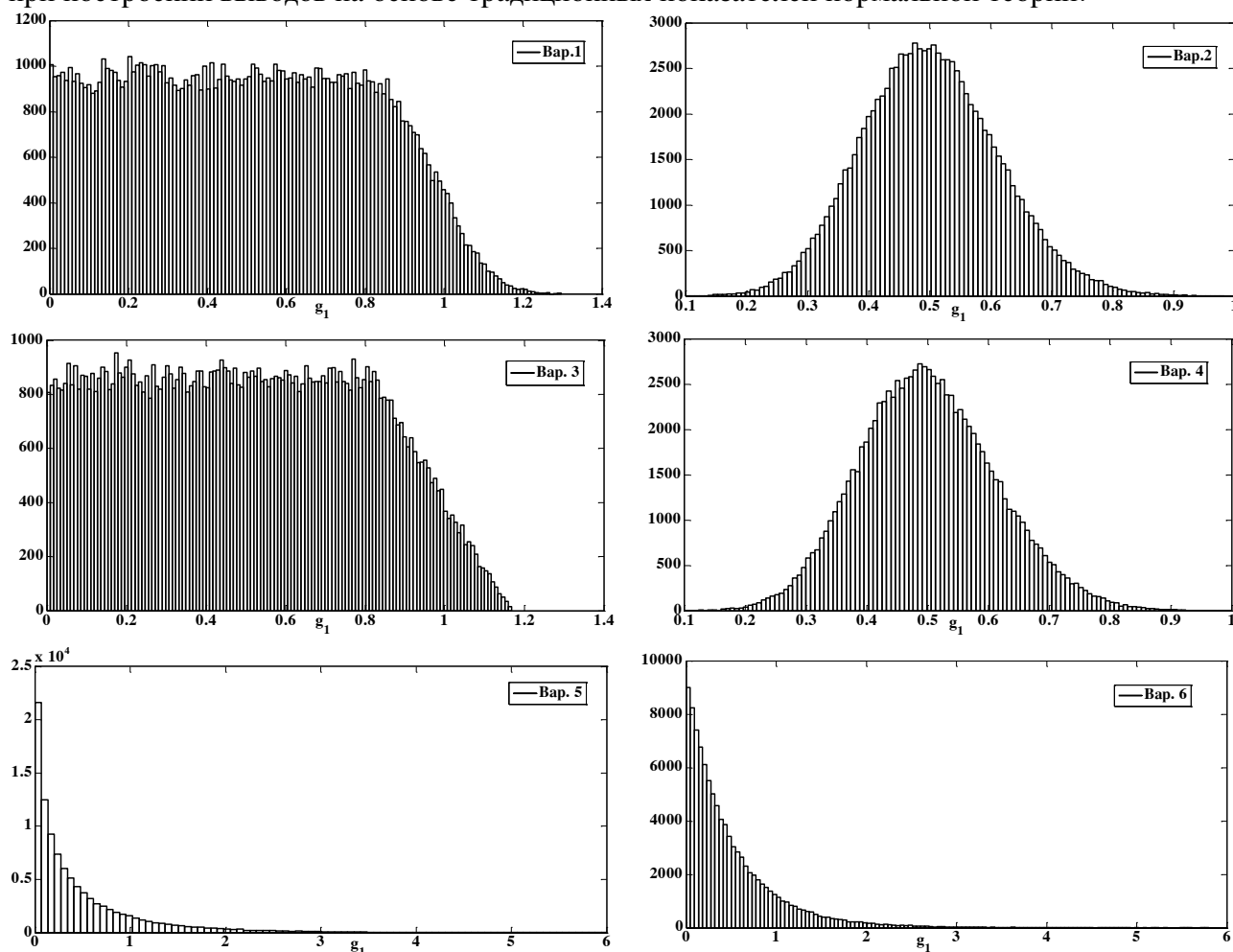


Рисунок 1 – Модели конечных распределений g_1 для масс клочков.

Вторая группа статистических экспериментов, связанных с имитацией процесса деления, была проведена для анализа зависимостей распределений от числа долей m , на которые разделяются элементы материального потока

$$g(i) = p(i)g, \quad p(1) + \dots + p(m) = 1, \quad p(i) \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (1)$$

Для проведения такого эксперимента необходимо моделировать значения $p(i)$, отвечающие условиям (1). Каждый конкретный набор этих значений задает координаты точки на правильном $m-1$ – мерном симплексе. Алгоритм моделирования координат точек, равномерно распределенных по площади симплекса, описан в [8]. В качестве альтернативы было использовано нормальное распределение координат с параметрами $pSr = 1/m$ и $CVp = 0,25$.

На рисунке 2 приведены диаграммы рассеяния 1000 смоделированных точек при $m = 3$ для обоих вариантов. Видно, что при нормальном распределении ненормированных значений долей, на которые разделяются клочки, нормированные значения долей локализованы вокруг своих средних значений. Отметим, что, несмотря на операцию нормирования долей, распределение каждой из долей практически сохраняет форму нормального распределения. План второго эксперимента приведен в таблице 2. В каждом из вариантов число долей, на которые разделялся клочок, было равно $m = 3, 5, 10$ и 20 .

Таблица 2. План статистического эксперимента 2

| Вар. | <i>Distr_g</i> | Параметры <i>Distr_g</i> | <i>Distr_p</i> |
|------|----------------|--------------------------|----------------|
| 1 | $N(gSr, CVg)$ | $gSr = 1; CVg = 0,1$ | Un |
| 2 | $N(gSr, CVg)$ | $gSr = 1; CVg = 0,1$ | N |
| 3 | $Un(Ag, Bg)$ | $Ag = 0,83; Bg = 1,17$ | Un |
| 4 | $Un(Ag, Bg)$ | $Ag = 0,83; Bg = 1,17$ | N |

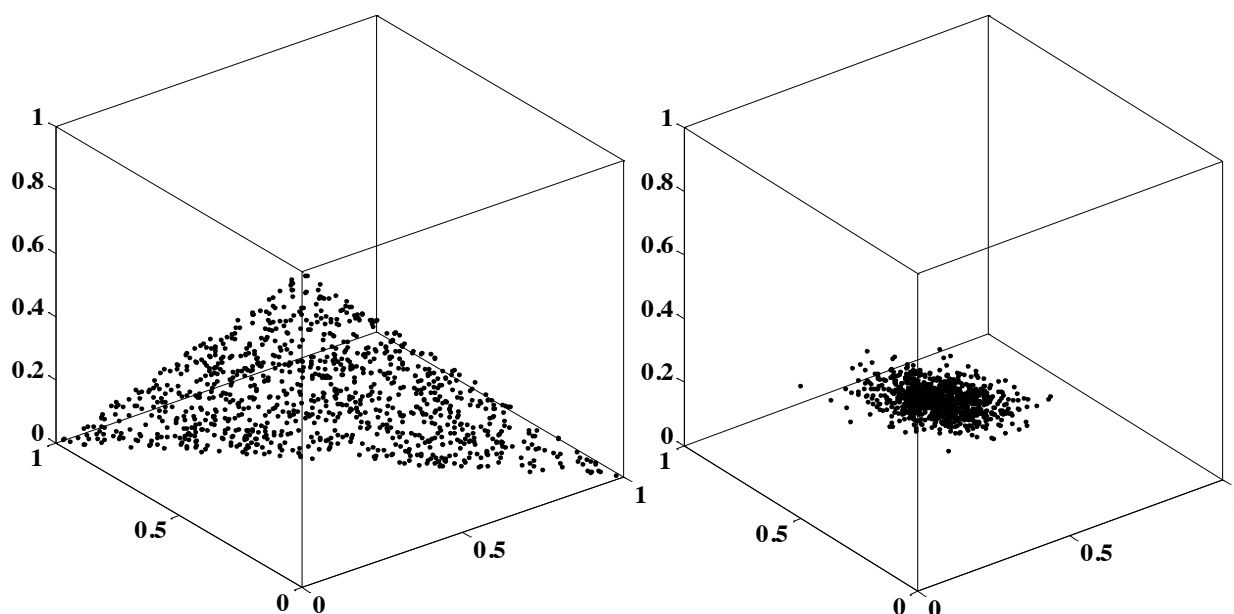


Рисунок 2 – Диаграммы рассеяния долей при равномерном и нормальном распределениях

На рисунке 3 показано, как меняются гистограммы распределений массы клочков в зависимости от числа долей, на которые они разделяются. Гистограммы приведены только для вариантов 1 и 2, поскольку вариант 3 практически совпадает с вариантом 1, а вариант 4 совпадает с вариантом 2.

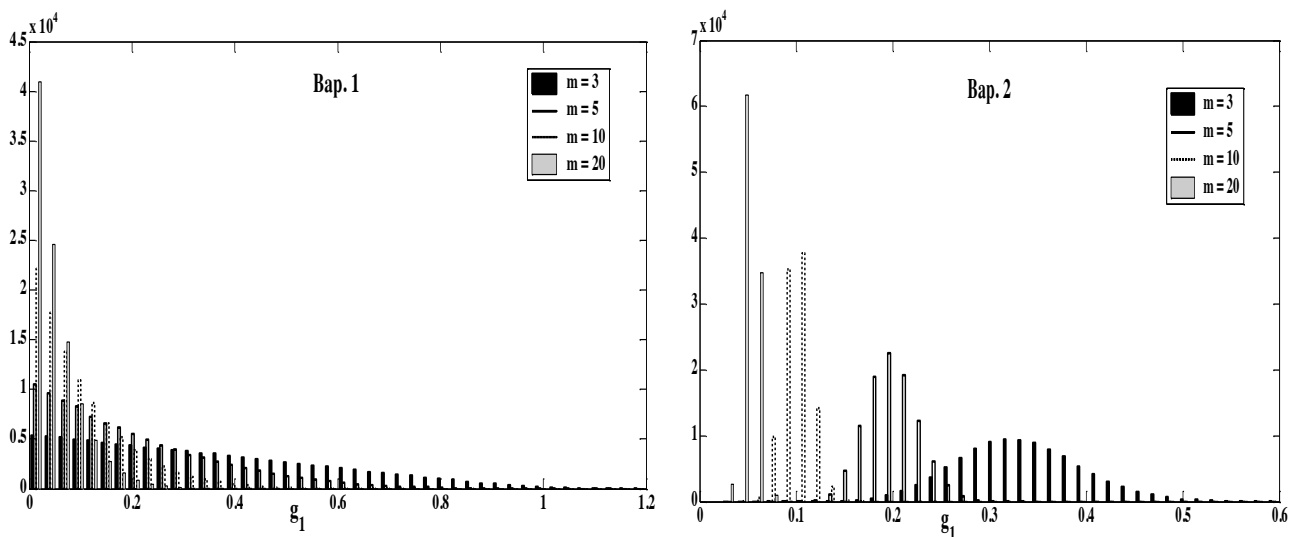


Рисунок 3 – Гистограммы масс клочков после деления для 1-го и 2-го вариантов эксперимента в зависимости от числа делений m

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будников В.И. Процесс деления в механическом прядении. М. Легкая индустрия. 1965. – 274 с.
2. Севостьянов П.А. Компьютерное моделирование технологических систем и продуктов прядения. – М.: Информ-Знание, 2006. – 445 с. ISBN 5-8032-00-98-0
3. Колмогоров А.Н. О логарифмически нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении. – Докл. АН СССР, 1941, т.31, №2, С.99 – 101.
4. Севостьянов П.А. Рассортировка клочков волокнистого материала и ее влияние на эффективность смешивания в смесовых машинах. Изв. вузов. Технология текстильной промышленности, 1, 1985. - С.33-37.
5. Севостьянов П.А. Исследование неравномерности по линейной плотности при делении потоков волокнистого материала. Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. №2, 1988. – С.36-40.
6. Севостьянов П.А., Минаева Н.В. Компьютерное моделирование разрыхления и очистки клочков волокон. Изв. вузов. Технология текстильной промышленности, 4, 1995. – С. 38 – 41.
7. Севостьянов П.А., Ордов К.В., Самойлова Т.А., Монахов В.В. Компьютерная модель изменения характеристик волокнистого материала в технологическом процессе. Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. №1 (361). С.170-174.
8. Шаракшанэ А.С., Железнов И.Г., Ивницкий В.А. Сложные системы. / Уч. Пособие для вузов. – Высшая Школа, 1977. – 247 с. илл.

УДК 621.3.082

**НОВЫЙ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗОВ
ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
NEW FAST METER GAS TEMPERATURE GAS TURBINE ENGINES****Жанна Артуровна Сухинец, Артур Игоревич Гулин
Zhanna A. Sukhinets, Artur I. Gulin***Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, Уфа
Ufa State Petroleum Technological University, Russia, Ufa
(e-mail: sukhinets@mail.ru; gulin1940@gmail.com)*

Аннотация: Представлено разработанное дифференциальное устройство измерения температуры, состоящее из двух каналов измерения и блока обработки информации, обладающее высоким быстродействием, на два - три порядка выше термопар, что позволяет измерять истинную температуру в камерах сгорания газотурбинных двигателей.

Abstract: The developed differential temperature measuring device consisting of two measurement channels and an information processing unit with high speed, two to three orders of magnitude higher than thermocouples, which allows to measure the true temperature in the combustion chambers of gas turbine engines, is presented.

Ключевые слова: температура, быстродействие, струйный генератор, пьезоэлемент.

Keywords: temperature, speed, jet generator, piezoelectric element.

Камера сгорания – один из важнейших элементов ГТД, от совершенства которой в значительной мере зависят его надежность и экономичность. Основное назначение камеры сгорания – преобразование химической энергии топлива в тепловую энергию. КПД и мощность ГТД увеличиваются с ростом температуры газа в камере сгорания и повышением давления. В связи с этим, основное требование к системе управления ГТД является высокая точность поддержания заданной температуры на установившихся и переходных режимах [1] для получения требуемых характеристик и сохранения ресурса двигателя. Погрешности регулирования температуры газа на установившихся режимах не должны превышать $5 \div 10$ К, а на переходных режимах допустимая величина «заброса» температуры составляет $30 \div 50$ К за время не более $0,5 \div 1$ с. При этом скорость изменения температуры газа на переходных режимах может достигать 400 К/с. Величина неравномерности поля температур ГТД, как перед турбиной, так и за турбиной по радиусу и по окружности составляет $100 \div 200$ градусов, изменяется в зависимости от режима работы двигателя. Наблюдается также нерегулярность поля температур газа, т.е. в одной и той же точке измерения при неизменном режиме работы двигателя температура газа во времени изменяется по произвольному закону. Это объясняется непостоянной подачей топлива в ГТД и большой турбулентностью потока воздуха.

Используемые в настоящее время термопары, имеющие большую инерционность, не позволяют измерить истинную температуру газа в двигателе. Поэтому вместо локальной измеряют лишь приближенно среднemasсовую, осредненную температуру. Для этого обычно устанавливают от 8 до 24 и более экранированных термопар, позволяющих измерять с погрешностью не более ± 2 градуса. Экранирование термопар ухудшает динамические свойства термопар, т.е. увеличивает их постоянную времени, которая находится в пределах $0,5 \div 8$ с. Для ее компенсации вводят последовательное корректирующее устройство, содержащее составляющие, пропорциональные изменению ЭДС термопары и ее производной. При этом компенсация, близкая к оптимальной, получается только при устойчивых режимах работы двигателя. На других же режимах будет или недокомпенсация или перекомпенсация.

Можно констатировать, что в настоящее время нет прямых быстродействующих методов измерения температуры газов ГТД, позволяющих создавать системы управления вблизи функциональных, прочностных и температурных ограничений [2, 3] с предотвращением выхода параметров работы двигателя за пределы допустимых значений за десятки доли секунд. Необходимо отметить, что превышение температуры лопаток ГТД выше предельных на 5 K приводит к перерасходу топлива и уменьшению ресурса ГТД примерно на $7 \div 10\%$. Таким образом, работы, посвященные исследованию и созданию систем для динамических измерений температуры газов ГТД являются весьма актуальными.

Струйные системы измерения температуры имеют большие перспективы [4], т.к. обладают высоким быстродействием, на два - три порядка выше термопреобразователей, нечувствительностью к электромагнитным и радиационным полям, простотой конструкции и высокой надежностью.

Рассмотрим работу дифференциального устройства измерения температуры [5, 6] газового потока (Рисунок 1). При помещении двух струйных генераторов ($СГ_1$) и ($СГ_2$), являющихся акустическими мультивибраторами, расположенными в одном корпусе, но относящихся к двум каналам измерения 1 и 2, в газовый поток, абсолютную температуру T которого измеряют, в них возбуждаются акустические колебания прямоугольной формы с частотами f_{A1} и f_{A2} . С помощью пьезоэлементов (ПЭ) они преобразуются в электрические полигармонические колебания nf_1 и nf_2 , поступающие на входы адаптивных селекторов (АС). В следствии упругих свойств мембраны ПЭ воспроизводят вместо прямоугольных импульсов, в соответствии преобразования Фурье, спектр синусоидальных электрических частот. В АС, осуществляется отбор первых гармоник f_1 и f_2 , пропорциональных измеряемой температуре газового потока T каждым СГ.

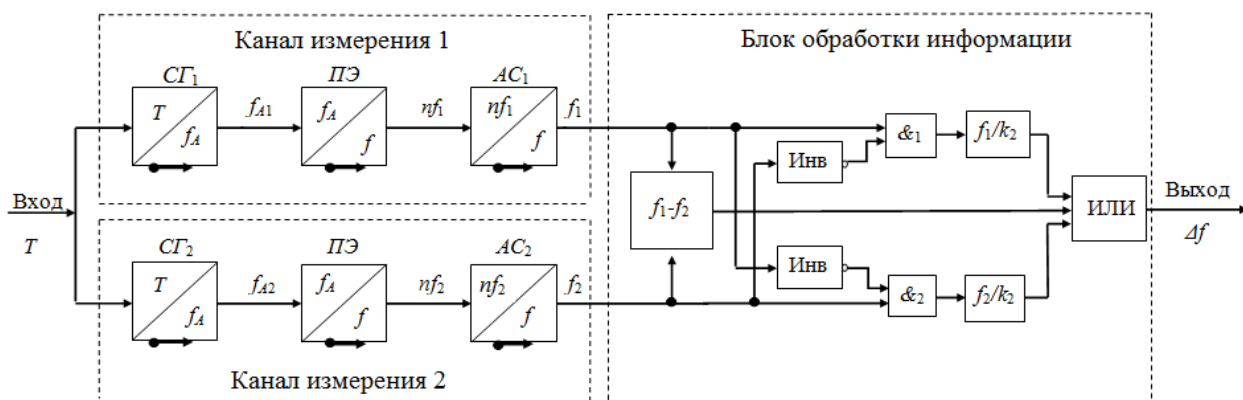


Рисунок 1 - Дифференциальное устройство измерения температуры газового потока

В блоке обработки информации с выхода вычитателя частот, реализующем дифференциальный принцип измерения, разница частот $\Delta f_1 = f_1 - f_2$, также пропорциональная температуре газового потока, через вход элемента «ИЛИ» поступает на выход устройства. Дифференциальное включение повышает быстродействие устройства [8] в два с лишним раза за счет сокращения переходного процесса установления измеряемой разности частот. При выходе из строя одного из каналов измерения, например первого, схема «И» запирается нулевым потенциалом с выхода АС2, а через инвертор «НЕ» открывает схему «И» второго канала, пропуская частоту f_2 после деления в k_2 раз делителем частоты через элемент «ИЛИ» на выход устройства в виде Δf . Аналогичным образом работает схема при выходе из строя второго канала измерения. Коэффициенты деления k_1 и k_2 делителей частоты и выбирают таким образом, чтобы частоты на их выходах были равны разности частот Δf , т.е.

$$\Delta f = \frac{f_1}{k_1} = \frac{f_2}{k_2} = f_1 - f_2.$$

Выводы

Разработанное дифференциальное устройство измерения температуры газового потока может быть использовано не только для канала управления по температуре, но и для исследования теплообменных процессов в камерах сгорания вновь создаваемых ГТД под различные виды топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://avia.pro/blog/regulirovanie-temperatury-gaza-v-gtd>
2. Юнаков Л.П. Основы теории авиационных газотурбинных двигателей. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2013. 90 с.
3. Иноземцев, А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л. Основы конструирования авиационных двигателей энергетических установок. Т. 1. М.: Машиностроение, 2008. 208 с.
4. Сухинец Ж.А., Галиев А.Л., Гулин А.И. Дифференциальный способ измерения температуры газовых потоков с использованием струйно-акустических датчиков // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 10. С. 4–11.
5. Сухинец Ж. А., Гатчина Ю. А., Гулина А. И. Быстродействующая система измерения температуры газов в газотурбинных двигателях // Датчики и системы. 2017. № 4. С. 31-36.
6. Гатчин Ю. А., Сухинец Ж. А., Гулин А. И. Дифференциальное устройство измерения температуры газового потока. Патент РФ 2626232. Кл. МПК: G01K 13/02. Опубликовано: 24.07.2017. Бюл. № 21.
7. Гулин А.И. Быстродействующий измеритель температуры газов в газотурбинном двигателе // Авиакосмическое приборостроение. 2012. №9. С. 10-14.

УДК 628.474.37

**ТРАНСЗВУКОВОЕ ГОРЕНИЕ – БАЗОВАЯ ОСНОВА ПРОРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В РЕШЕНИИ ЭКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ**

(PRT – *Papusha Rocket Technology - Ракетная Технология Папуши, внесенная в список ООН рекомендуемых к внедрению технологий под именем автора*)

**TRANSONIC BURNING – IS A PRINCIPAL BASIS OF NEW REVOLUTIONARY
TECHNOLOGIES IN THE SOLUTION OF ECOENERGETICAL PROBLEMS**

(PRT – *Papusha Rocket Technology – the rocket technology originated from the author’s name “papusha” and included in the un list of preferred technologies*)

**Анатолий Иванович Папуша, Игорь Анатольевич Папуша
Anatolii I. Papusha, Igor A. Papusha**

*Общество с ограниченной ответственностью «ЭЛФА», Россия, Москва
ELFA Co. Ltd., Russia, Moscow
(e-mail: papusha@a27.ru; i_papusha@mal.ru)*

Аннотация: Автором предложено новое решение проблемы сжигания широкого спектра ранее невостребованных низкосортных углеводородных топлив естественного и искусственного происхождения. В основу разработки заложен новый тип многоступенчатого горения в области высоких трансзвуковых скоростей. Результаты ранее проведенных работ по обезвреживанию супертоксикантов предлагается использовать для внедрения новой технологии в область экоэнергетики.

Abstract: A new principally new technical solution for incineration of wide spectrum of unclaimed low-grade hydrocarbon fuels of natural and artificial origin is proposed by author. A new principle of multi-stage combustion in the transonic speed range combustion representing basic nanotechnology features is put on the base of the technology. The results of previous research,

design works and industrial implementation of the technology for supertoxicants neutralization is proposed to use as the scientific and technical base of new technology for ecological energy.

Ключевые слова: экоэнергетика, супертоксикант, турбулентное пламя, утилизация вредных веществ.

Keywords: ecoenergy, supertoxicant, turbulent flame, harmful substances utilization.

Решающим фактором в обеспечении приемлемого качества окружающей среды является проведение эффективной природоохранной деятельности по нейтрализации загрязнителей. Поступательно возрастающее негативное антропогенное воздействие на природу уже осязаемо приблизило к неприемлемому состоянию среды обитания человека. **Главной объективной причиной усугубляющегося экологического кризиса являются недостаточные или даже исчерпанные возможности базового инструментария природоохранной техники.** До последнего времени, в подавляющем большинстве случаев (> 90%) базовой основой исполнительных средств служит традиционное горение, осуществляющее непосредственное сжигание загрязнителей [1-3].

Несмотря на многовековой (тысячелетний) опыт владения огнем, возможности традиционного горения имеют определенные границы: максимальный уровень температуры ~ 2000 °С; регламентные ограничения по свойствам сжигаемых веществ: зольность – 43%, влагосодержание – 30%, минимальное метановое число – 25 и т.д. Реальные успехи применения традиционного горения достигнуты главным образом в сжигании бытового мусора, вносящим лишь незначительную долю (< 1/10) общей антропогенной экологической нагрузки – образно, видимой части айсберга. Высокие достижения в области мусоросжигания освоены лишь десятком высокоразвитых стран, безусловно подразумевая необходимый уровень организационной и технологической культуры (сбор – сортировка – предварительная подготовка – эффективный технологический процесс сжигания – мониторинг).

С повышением класса опасности обезвреживаемых веществ трудность обезвреживания токсикантов традиционными методами существенно возрастает. Сложность решаемой проблемы увеличивается в связи с тем, что с одной стороны – свойства сжигаемых веществ усложняются, а с другой – требования к качеству сжигания (требования экологической безопасности) непрерывно повышаются. Реальные потребности современной экологии существенно выходят за рамки вышеуказанных и других ограничений и требований. Попытки распространения позитивного опыта мусоросжигания на более сложные загрязнители, даже с дополнительной специальной подготовкой к сжиганию: разбавление – растворение – расплавление (вплоть до плазмохимической обработки) достигли только отдельных фрагментарных успехов. Конечные неудовлетворительные результаты обусловлены природой традиционного горения с присущей ей неравномерностями полей концентраций и температур, неизбежными процессами релаксации (вторичные диоксины) и т.п.

Особо следует подчеркнуть, что даже высшие достижения самой передовой в процессах горения ракетно-космической техники, охватывающей в качестве топлив более одной трети элементов таблицы Д.И. Менделеева и ~ 1200 химических топливных соединений – оказались недостаточным для самых жестких требований экологии – 99,9999 % чистоты обработки [1-4].

Апофеозом возможностей традиционного горения является реальный опыт крупнейшего объекта США на атолле Джонсон по уничтожению химического оружия. Эксплуатация наиболее совершенной двухкаскадной печи традиционного горения, но неудовлетворяющей требованиям экологической безопасности, затратив 24 млрд. долларов, выполнив лишь малую часть программы уничтожения химоружия – уничтожила 9 видов животных!

Обобщая многочисленные попытки расширения сферы применения традиционного горения по обезвреживаемых токсикантов можно сделать вывод, что **ни одна из**

международных директив по наиболее опасным загрязнителям, декларированных Конвенциями и Протоколами, должным образом не выполняется [3, 4].

Выходом из создавшегося положения представляется поиск принципиально новых решений. Реальные предпосылки для решения острейших экологических проблем представляет разработка нового типа высокоскоростного высокотемпературного горения (обобщенно – **трансзвукового горения**). Сущность его состоит в **переведе рабочего процесса горения в область трансзвуковых течений, с искусственным инициированием волновых процессов и управлением термохимическими режимами.**

Реализация трансзвукового горения с вышеуказанными специфическими особенностями технически легко осуществима: перепадом давления $\geq 1,6$ раза, незначительным повышением температуры в реакционной зоне \sim на 200 °С и дискретным управлением химическим составом в многозвенной цепи технологического процесса. **Специфичность природы трансзвукового горения кратко характеризуется тем, что обрабатываемое вещество в равномерном высокотемпературном потоке диспергируется не только до молекулярного состояния, а при управляемом термическом воздействии преобразуется в активные радикалы, удовлетворяющие условиям кинетического горения [5, 6].**

Впервые новый тип трансзвукового горения был применен в 1980-ые годы при создании самого мощного в мире 800 тонного жидкостного ракетного двигателя. В сопровождение его отработки была создана самая крупная в мире камера сгорания (дожигания СО) с суммарным расходом 10 т/сек, обеспечивающая дожигание СО от 1000 кг/сек до 1 кг/сек (Рисунок 1).



Рисунок 1. Самая крупная в мире камера сгорания (диаметр 5,5 м, длина 35 м) (внизу слева). Общий комплекс является базовым объектом выполненной космической программы «Энергия-Буран» (работает по настоящее время), г. Химки, Московская область.

В последующие годы были проведены комплексные разработки, включающие НИР, ОКР, производство, доведенное до практического применения [3, 4].

Техническое воплощение установок возможно на высокотехнологичной базе авиационной техники. В результате выполненных работ в последние десятилетия удалось кардинальным образом улучшить качество горения и существенно изменить технический облик исполнительных средств. Об этом свидетельствуют основные показатели:

- **Эффективность** горения с рекордно высоким показателем полноты сгорания 99,9999%, удовлетворяющую самым строгим национальным и международным нормативам;
- **Универсальность** – по широте спектра обрабатываемых веществ, не имеющую аналогов в мировой практике;
- **Мобильность** исполнительных комплексов, позволяющую работать непосредственно в местах нахождения обрабатываемых веществ, исключая их транспортировку (особенно важно для супертоксикантов)

Подтверждением перспектив широкомасштабного внедрения являются полученные опытные данные и результаты фрагментарного промышленного внедрения (Рисунок 2, Рисунок 3).



Рисунок 2 – Стационарный промышленный комплекс по обезвреживанию диоксино-содержащих трансформаторных масел. Утилизировано 132 тонны «сотвола-10» (I класс опасности). ОАО «Северсталь» г. Череповец, Вологодская обл. 1999-2004 г.



Рисунок 3 – Мобильный комплекс, размещенный в 40-футовом контейнере. В полевых условиях отработано обезвреживание 37 специальных рецептур (хлор-, фтор-, серу-, фосфорсодержащих) с рекордным уровнем экологической безопасности – 99,9999 % чистоты обработки. г. Шиханы Саратовской обл., 2002-2005 г.

По экологическим (на порядок выше традиционных достижений), экономическим (кратно или на порядок дешевле) и эксплуатационным показателям (мобильности, не имеющей аналогов) уже достигнут или превзойден уровень высоких мировых показателей, признанных на государственном и международном уровнях [2-4].

Основными направлениями дальнейшего развития являются:

- I. Экология – обезвреживание супертоксикантов**, включая выполнение практически всех директивных документов, декларированных международными Конвенциями и Протоколами, токсичные промышленные, сельскохозяйственные, медицинские, фармацевтические и др. отходы.
- II. Энергетика** – решение комплекса топливно-энергетических проблем по освоению ранее невостребованных топлив, загрязняющих окружающую среду: низкосортных, некондиционных, высокосолевых, сильнообводненных, биотоплив и т.д. По широте спектра и объемам вышеуказанной номенклатуры эта рубрика на порядок превосходит масштабы вышеуказанных экологических проблем.

III. Специальные проекты

Проведенные прямые опыты по разделам I, II и III документировано подтверждают исключительную перспективность трансзвукового горения (Рисунок 4).

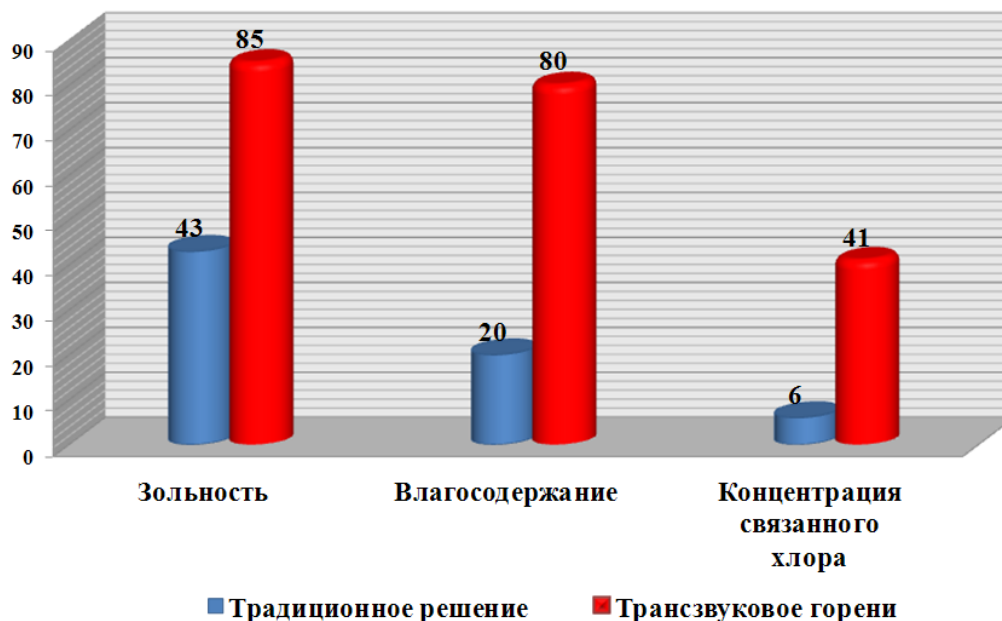


Рисунок 4 – Сравнительные показатели традиционного и трансзвукового горения

Опираясь на накопленный позитивный опыт международного сотрудничества при разработке трансзвукового горения, представляется целесообразным на очередном этапе объединить усилия на международном уровне для дальнейшего развития и практического внедрения предлагаемой инновационной разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов В. В.. Загрязнение окружающей среды полихлорированными бифенилами и пути минимизации их воздействия, тр. РХТУ им Д.И.Менделеева, вып.173, М, 1995, стр. 24-40.
2. Папуша А.И. Основные положения высокотемпературного обезвреживания супертоксикантов. «Безопасность России. Высокотехнологичный комплекс и безопасность России. Часть II. Проблемы обеспечения безопасности оборонно-промышленного комплекса России», М., МГФ «Знание», 2003, стр. 288-294.
3. Папуша А.И. Новое направление в решении актуальных проблем в экоэнергетике // Вестник РАЕН, 2009 Том 9, № 1, стр. 87-91.
4. Папуша А. И. О перспективах и преимуществах интеграционных экоэнергетических проектов межгосударственного уровня / Изд. РАН. ИНИОН.– М., 2013. – 40 с.
5. Papusha Rocket Technology, Survey of Currently Available Non-incineration PCB Destruction Technologies, United Nation Environment Problems, Aug. 2000, s. 50.
6. Папуша А.И. Способ термохимического обезвреживания высокотоксичных веществ Патент на изобретение РФ, № 2240850 от 27.11.2004 г.

СЕКЦИЯ 2. «ПРОЦЕССЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ТЕХНОСФЕРЫ (ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ)»

УДК 544.723:547.917.04

НОВЫЕ БИОСОРБЕНТЫ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ NEW BIOSORBENTS FOR HUMAN AND ENVIRONMENT RENABILITATION

Наталья Рустемовна Кильдеева*, Елена Анатольевна Подорожко**,
Александр Николаевич Велешко***, Владимир Иосифович Лозинский**

Natalia R. Kildeeva*, Elena A. Podorozhko**,
Alexander N. Veleshko ***, Vladimir I. Lozinsky **

**Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва*
**The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow*
(e-mail: kildeeva@mail.ru)

***Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Россия, Москва*
***Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds, Russian Academy of Sciences,
Russia, Moscow*

*** *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Россия, Москва*
****National Research Centre «Kurchatov institute», Russia, Moscow*

Аннотация: Рассмотрены особенности процесса получения методом криотропного гелеобразования композитных хитозансодержащих макропористых биосорбентов. Изучены их сорбционные свойства по отношению к тяжелым металлам, радионуклидам и кислотным красителям.

Abstract: The features of the process of obtaining composite macroporous biosorbents containing chitosan by cryotropic gelation are considered. Their sorption properties with respect to heavy metals, radionuclides and acid dyes were studied.

Ключевые слова: биосорбенты, хитозан, криогели, сорбция, природная вода, загрязнители.

Keywords: biosorbents, chitosan, cryogels, sorption, natural water, pollutants.

Соли металлов и органические отходы, образующиеся в результате деятельности человека, представляют угрозу живым организмам и, прежде всего, здоровью людей. В последние десятилетия во всем мире уделяется большое внимание разработкам исследования в области получения новых полимерных материалов, направленных на реабилитацию человека и регенерацию природных вод. К составу питьевых вод, направляемых на производство лекарственных препаратов, детского питания и других биотехнологических процессов предъявляются очень высокие требования. Наиболее перспективным способом решения этой проблемы является разработка новых сорбционных материалов с использованием биосовместимых природных полимеров, таких как аминоксодержащий полисахарид хитозан, который помимо аминоксодержащих групп, содержит также способные к комплексообразованию гидроксильные группы. Способность хитозана к биодegradации обеспечит компактизацию загрязнений и облегчит их последующую утилизацию. Среди основных направлений использования сорбентов на основе хитозана можно выделить очистку воды питьевого и медицинского назначения от красителей и органических высокотоксичных соединений, ионов тяжелых металлов, радионуклидов и других вредных веществ [1,2].

Предложен способ получения хитозан-содержащего криогеля в отсутствие сшивающего реагента путем криогелирования совместного раствора гидрохлорида хитозана и

поливинилового спирта с последующим переводом хитозана в форму основания путем депротонирования аминогрупп в парах аммиака [3,4]. Полученный в таких условиях сорбент содержит мелкие частицы дискретной фазы хитозана (размером 2-5 мкм), равномерно распределенные в объеме пористой матрицы композитного криогеля поливинилового спирта. Такая структура сорбента обеспечивает доступность аминогрупп хитозана в процессе сорбции загрязнителей из их водных растворов. В докладе рассмотрены сорбционные свойства хитозан-содержащих криогелей по отношению к тяжелым металлам, радионуклидам и кислотным красителям.

Кислотные красители – это крупный класс водорастворимых анионных красителей, которые используются для крашения капрона, шерсти и шелка, а также для получения цветной бумаги, окрашивания кожи, используются в косметике и цветной печати [5]. При концентрации менее 0,1 ммоль/л рН растворов кислотных красителей больше 6,0, что значительно выше рН-области растворимости хитозана, поэтому композитные криогели поливинилового спирта и хитозана должны быть устойчивы в водных растворах красителей. В настоящей работе впервые изучены сорбционные свойства хитозан-содержащих композитных криогелей поливинилового спирта в процессах извлечения кислотных красителей из водных растворов при нейтральных значениях рН. В качестве модельных растворов были использованы растворы анионных красителей различного строения, содержащих одну или две сульфогруппы: кислотный желтый К, кислотный красный 2 Ж и кислотный фиолетовый (антрахиноновый). Изучение сорбционных свойств композитных криогелей по отношению к текстильным красителям проводилось из разбавленных растворов и показало, что криогели ПВС-хитозан обладают высокой сорбционной емкостью и скоростью достижения сорбционного равновесия. Значение предельной абсорбции A_{∞} составило 30-50 мг/г хитозана. Содержание сорбированного красителя на криогеле существенно превышало соответствующий показатель (6-10 мг/г волокна), полученный при крашении шерсти в оптимальных условиях. Показано, что при снижении концентрации раствора красителя степень извлечения увеличивается и при концентрации 0,01 ммоль/л криогель степень извлечения достигает почти 98%. На рисунке 1 представлены кинетические кривые сорбции красителя КК2Ж композитными криогелями ПВС-ХТО.

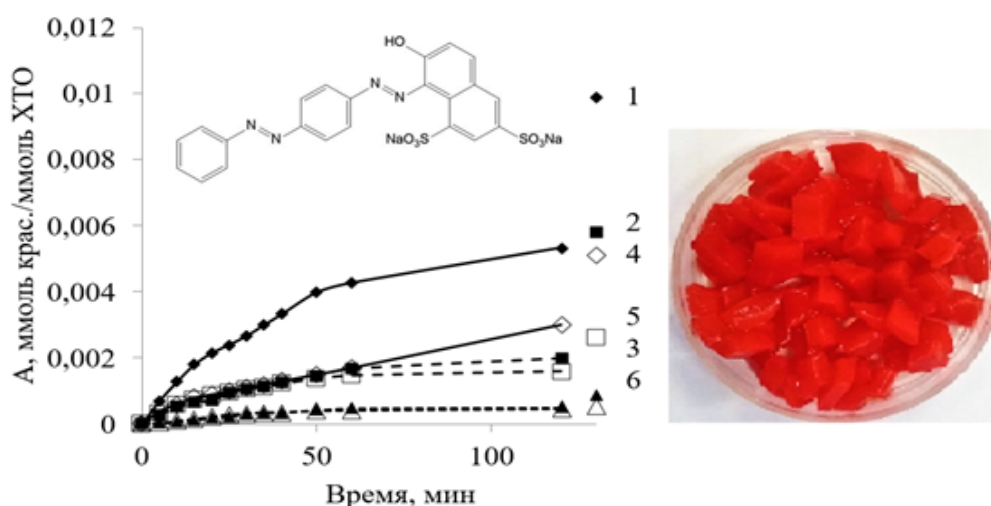


Рисунок 1 – Кинетические кривые сорбции красителя Кислотный красный 2Ж композитными криогелями ПВС-ХТО с содержанием ПВС : ХТО = 120 : 56 г/л (1, 2, 3) и ПВС : ХТО = 120 : 112 г/л (4, 5, 6) из водных растворов с разной концентрацией сорбата: 1, 4 – 0,1 ммоль/л; 2, 5 – 0,05 ммоль/л; 3, 6 – 0,01 ммоль/л.

При хемосорбции связывание ионов проходит на сорбционно-активных центрах полимерного сорбента. Для аналитического описания ионообменных равновесий использована теория мономолекулярной адсорбции Ленгмюра и полимолекулярной адсорбции Фрейндлиха. Изотермы адсорбции Ленгмюра $A_{равн} = f(C_{равн})$ имеют вид кривых с насыщением.

Экспериментальные изотермы сорбции криогелем ПВС-ХТО была обработана в рамках двух моделей:

-по уравнению Ленгмюра

$$A_{равн} = \frac{A_{\infty} \cdot K \cdot C_{равн}}{1 + K \cdot C_{равн}}$$

-по уравнению Фрейндлиха

$$A_{равн} = K \cdot C_{равн}^n$$

Значения констант в уравнении Фрейндлиха указывают на высокое сродство функциональных групп сорбента к красителям, а низкие значения $n < 1$ показывают, что по мере заполнения поверхности энергия связей возрастает. Энергетическая неравноценность сорбционных центров, а также тот факт, что процесс хемосорбции ионов может быть описан уравнением полимолекулярной адсорбции, свидетельствуют о сложном характере процесса сорбции.

Для многократного использования криогелей в процессах удаления красителей из водных сред был предложен способ регенерации сорбента его обработкой водным раствором хлорида натрия. Для этого после достижения равновесной сорбции, композитные криогели помещали в 5% раствор NaCl. Процесс десорбции красителя проводили в течении суток при постоянном перемешивании. Десорбция красителя достигала 98-100%. Десорбция красителей из хитозан-содержащих криогелей в среде сильно электролита NaCl за 24 ч достигает 100%, что позволяет их использовать многократно.

Выводы

Разработан метод получения композитного хитозан-содержащего биосорбента путем криотропного гелеобразования в растворах хитозана и поливинилового спирта. Изучены сорбционные свойства полученных криогелей по отношению к тяжелым металлам, радионуклидам и кислотным красителям. Проведенные исследования процесса сорбции кислотных красителей композитными криогелями поливинилового спирта позволили установить следующие закономерности: адсорбция красителя повышается с увеличением начальной концентрации красителя в растворе, времени контакта раствора красителя с криогелем, но зависит неоднозначно от содержания хитозана в криогеле. Показана возможность регенерации сорбента путем выдерживания в 5%-ном растворе NaCl.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ngah, WS Wan, L. C. Teong, and M. A. K. M. Hanafiah. "Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review." *Carbohydrate polymers* 83.4 (2011): 1446-1456.
2. Vakili, Mohammadtaghi, et al. "Application of chitosan and its derivatives as adsorbents for dye removal from water and wastewater: A review." *Carbohydrate polymers* 113 (2014): P. 115-130
3. Podorozhko E.A., Tikhonov V.E., Lozinsky V.I., Ul'yabaeva G.R., Kil'deeva N.R., Antonov Y.A., Zhuravleva I.L. A study of cryostructuring of polymer systems. 41. Complex and composite poly(vinyl alcohol) cryogels containing soluble and insoluble forms of chitosan, respectively *Colloid Journal*. 2016. T. 78. № 1. С. 90-101.
4. Podorozhko, E. A., Ul'yabaeva, G. R., Tikhonov, V. E., Grachev, A. V., Vladimirov, L. V., Antonov, Y. A., ... & Lozinsky, V. I. (2017). A study of cryostructuring of polymer systems. 43. Characteristics of microstructure of chitosan-containing complex and composite poly (vinyl alcohol) cryogels. *Colloid Journal*, 79(1), 94-105.
5. Kyzas GZ, Kostoglou M, Lazaridis NK, Bikiaris DN (2013) Decolorization of dyeing wastewater using polymeric adsorbents: an overview. *Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing*. Intech Open. <https://doi.org/10.5772/52817>.

УДК 697.385

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХЛАДАГЕНТОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫМИ ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ НА ПРИНЦИПАХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ
ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF COOLING AGENTS OF HEAT SUPPLY SYSTEMS BY AIR HEAT PUMPS ON THE PRINCIPLES OF THERMODYNAMIC ACTIVITY OF NON-EQUAL PROCESSES

**Сергей Викторович Федосов, Вадим Николаевич Федосеев,
Людмила Анатольевна Опарина
Sergey V. Fedosov, Vadim N. Fedoseev, Lyudmila A. Oparina**

*Ивановский государственный политехнический университет, Россия, Иваново
Ivanovo State Polytechnic University, Russia, Ivanovo
(e-mail: fedosov-academic53@mail.ru, 4932421318@mail.ru, L.A.Oparina@gmail.com)*

Аннотация: В статье освещаются вопросы экологической безопасности хладагентов (фреонов), циркулирующих в воздушных тепловых насосах. Показана актуальность проблемы. Представлены результаты авторских исследований в данной области. Приведены результаты расчёта интегрального показателя термодинамической активности фреонов, сделан вывод, что фреон R134 наиболее близок к значению идеального интегрального показателя по уровню термодинамической активности.

Abstract: The article about the environmental safety of refrigerants (freons) circulating in air-driven heat pumps. The urgency of the problem is shown. The results of the author's research in this area are presented. The results of the calculation of the integral indicator of the thermodynamic activity of freons are given, it is concluded that freon R134 is closest to the value of the ideal integral indicator in terms of the level of thermodynamic activity.

Ключевые слова: Экологическая безопасность, воздушный тепловой насос, хладагенты, фреоны

Keywords: Ecological safety, air heat pump, refrigerants, freons

В современных условиях тенденции использования возобновляемых источников энергии для теплоснабжения зданий особую актуальность приобретают вопросы использования воздушных тепловых насосов (ВТН), принцип действия которых – отбор рассеянного тепла из окружающего воздуха и перенос в отопительный контур дома. Работа воздушных тепловых насосов основана на принципах термодинамической активности неравновесных процессов. Рабочей жидкостью в тепловых насосах является хладагент (фреон), особенностью которого является способность закипать при низких температурах и переходить из жидкого состояния в газообразное и наоборот. Во время фазового перехода из жидкого состояния в газообразное (испарение) происходит поглощение теплоты, а во время фазового перехода из газообразного в жидкое (конденсация) происходит передача теплоты на тех же принципах термодинамической активности.

Актуальной проблемой при использовании фреонов являются вопросы их экологической безопасности. В 1990-е годы в России рядом институтов страны был выполнен большой объем работ по переводу промышленности на новый класс химических соединений, взамен запрещенных озоноразрушающих веществ (ОРВ). В результате проведенных исследований предложена номенклатура новых хладагентов: гидрофторуглероды ГФУ R-134a, R-152a, R-125, R-32 и др. Основное отличие данных соединений от ОРВ – отсутствие в их молекулах атомов хлора и брома, которые могут участвовать в цикле разложения озона. Кроме нулевого значения озоноразрушающего потенциала (ODP) и величины потенциала

глобального потепления климата (GWP) главным критерием при выборе заменителей ОРВ является близость физико-химических и эксплуатационных свойств к аналогичным характеристикам заменяемых ОРВ. В мире намечается тенденция активного использования хладагентов четвертого поколения, имеющих высокую эффективность, не влияющих на озоновый слой и оказывающих минимальное воздействие на глобальное потепление [1].

К наиболее известным и распространённым рабочим жидкостям, применяемым в тепловых насосах для обогрева при строительстве небольших производственных и жилых помещений, относятся следующие: R12, R22, R134, R404, R410, R507. Из них R12, R22 – хлорфторуглероды (CFC – 12) и (HCFC -22); (R-12 – $t_{кип} = 29,8^{\circ}\text{C}$); (R-22 – $t_{кип} = 40,8^{\circ}\text{C}$); R134, R507 – гидрофторуглероды (HFC) и (HCFC-22); (R-134 – $t_{кип} = 26,3^{\circ}\text{C}$); (R-507 – $t_{кип} = 51^{\circ}\text{C}$); R-404 и R-410 – смесь (R-404 – $t_{кип} = 46,3^{\circ}\text{C}$); (R-410 – $t_{кип} = 51,4^{\circ}\text{C}$) [2, 3].

В исследовании [4] авторами сделан вывод, что фреон R134 наиболее близок к значению идеального интегрального показателя по уровню термодинамической активности фреонов (ТДАФ), а также его экологической безопасности, энергетической эффективности и стоимости. ТДАФ – это интегральный показатель, объединяющий в себе следующие показатели: «относительная молекулярная масса», «коэффициент энергоэффективности», «теплота парообразования», «давление», «объём фреона», «работа компрессора».

В данной работе авторы обозначили подход к изучению влияния значимых факторов на режим работы и конфигурации ВТН «воздух-вода» в зависимости от интенсивности теплопереноса в целом. Предлагается использовать конфигурацию теплонасосной системы, состоящей из трёх контуров:

1. Контур влияния движения рабочего тела (фреона):
 - 1.1. Давление кипения
 - 1.2. Давление конденсации.
 - 1.3. Температура переохлаждения.
 - 1.4. Сопротивление магистралей.
 - 1.5. Механическая работа (компрессор, вентилятор).
2. Контур влияния окружающей среды на интенсивность теплопереноса в ВТН:
 - 2.1. Температура.
 - 2.2. Влажность.
 - 2.3. Объём.
3. Контур влияния теплоносителя (вода, антифриз и т.д.) на энергоэффективность ВТН:
 - 3.1. Объём.
 - 3.2. Плотность.
 - 3.3. Вязкость.

Применяя метод экспертных оценок как частный срез метода анализа иерархий, авторы определяют приоритеты влияния теплоэнергоэффективности как в количественном, так и в качественном отношении на производительность ВТН [5].

В настоящем и будущем развитие и поиск экологически чистых рабочих жидкостей для тепловых насосов будет заключаться в их модернизации, высокой надежности и усовершенствовании самих воздушных тепловых насосов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Румянцев Е.В., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Опарина Л.А., Чистякова Ю.А. Социально-экономические эффекты от снижения энергоёмкости российской экономики. Иваново. 2018. ПресСто, 128 с.
2. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Мартынов И.А. Тепловой насос как элемент энергосберегающей политики для энергоёмких предприятий текстильной и лёгкой промышленности // Текстильная и лёгкая промышленность. 2018. № 2. С. 26-28.
3. Воронов В.А., Емелин В.А., Федосеев В.Н., Зайцева И.А. Климатические условия и факторы, влияющие на производительность воздушного теплового насоса // Теория и

практика технических, организационно-технологических и экономических решений. Сборник научных трудов. 2015. С. 241-251.

4. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Зайцева И.А., Виноградова Н.В., Острякова Ю.Е. Эффективность отопления тепловым насосом автономных текстильных производств в зависимости от уровня термодинамической активности фреонов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. № 1. С. 179-184.

5. Т. Саати. Методы анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

УДК 66.011

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ И ЭФФЕКТИВНОСТИ В АППАРАТЕ СО
ВСТРЕЧНЫМИ ЗАКРУЧЕННЫМИ ПОТОКАМИ
A STUDY OF ENERGY CONSUMPTION AND EFFICIENCY IN THE CHAMBER WITH
THE COUNTER SWIRLING STREAMS**

**Александр Сергеевич Белоусов*, Виктор Викторович Голованов*,
Ефим Исаевич Головатый**
Alexander S. Belousov*, Victor V. Golovanov*, Efim I. Golovaty**

**Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва*

** The Kosygin Russian State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: as.belousov-2@yandex.ru)*

*** Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе, Россия, Москва*

*** Russian state geological prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze,
Russia, Moscow*

Аннотация: Рассчитаны поля скоростей и структура течений в аппарате со встречными закрученными потоками. Получены уравнения для расчета потерь давления в аппарате. Установлена взаимосвязь потерь давления и эффективности аппарата.

Abstract: The velocity fields and the flows structure in chamber with counter-swirling flows were calculated. The equations for calculating pressure losses in the apparatus were received. The interrelation between pressure losses and efficiency of the device was established.

Ключевые слова: вихревой аппарат, закрученные потоки, потери энергии, эффективность.

Keywords: vortex chamber, swirling flows, energy loss, efficiency.

Известно, что в аппаратах с закрученными потоками наблюдается стремление к образованию цилиндрических структур течения [1]. Это свойство широко используется при разработке инженерных моделей, так как позволяет существенно упростить расчетные уравнения [2]. Цилиндрические структуры наиболее естественны для аппаратов с симметричным (например, лопаточным) вводом закрученного потока [3]. Однако для наиболее распространенного типа аппаратов со встречными закрученными потоками и с тангенциальными вводами (ВЗП-2Т) теоретических расчетных исследований трехмерной структуры течений пока не проводилось. Разумеется, что сосредоточенные тангенциальные вводы потоков должны создавать азимутальную неравномерность струй, но особенности внутренней энергетики закрученного потока могут в значительной степени компенсировать эту неравномерность [3].

Для исследования трехмерных полей и структур потоков в данной работе использовалась академическая версия инженерного пакета ANSYS 19.2. Построена компьютерная 3-D модель аппарата ВЗП-2Т промышленного размера: диаметр 0,8 м., на

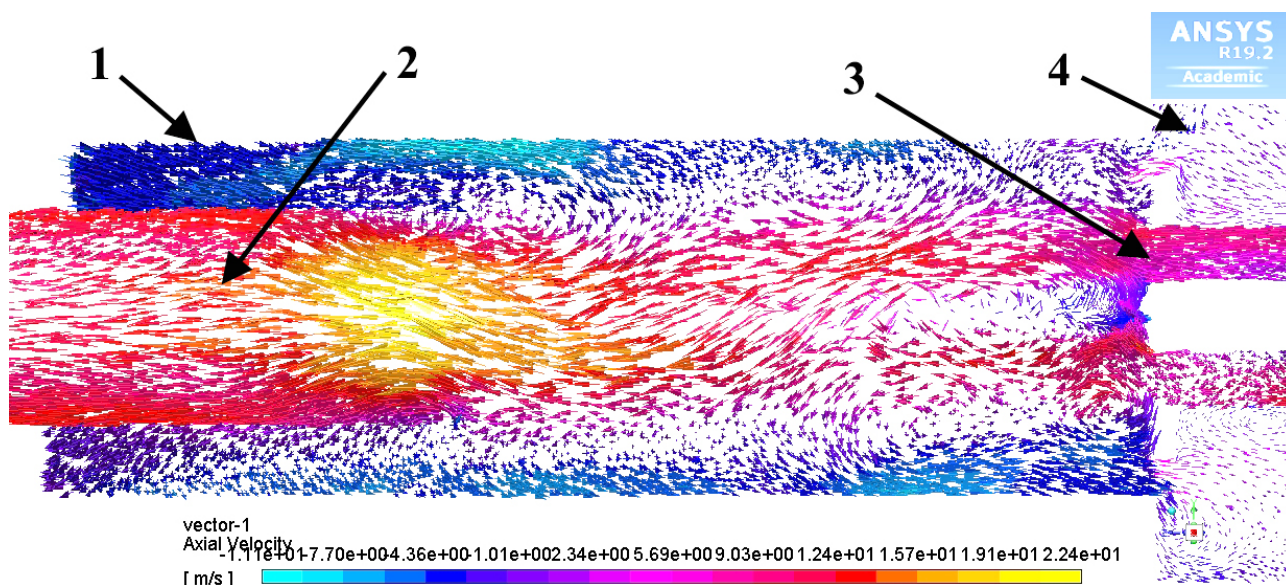
производительность 12000 м³/час. В соответствии с рекомендациями работы [4] для расчетов выбрана модель турбулентности в виде дифференциальных уравнений для турбулентных напряжений Рейнольдса:

$$\rho \bar{V}_k \frac{\partial \bar{V}_i' \bar{V}_j'}{\partial X_k} = -\rho \left(V_i' V_k' \frac{\partial \bar{V}_j'}{\partial X_k} + \bar{V}_j' V_k' \frac{\partial \bar{V}_i'}{\partial X_k} \right) + P' \left(\frac{\partial V_i'}{\partial X_j} + \frac{\partial V_j'}{\partial X_i} \right) -$$

$$-\rho \frac{\partial}{\partial X_k} (\bar{V}_i' \bar{V}_j' V_k') - \left[\frac{\partial}{\partial X_i} (\bar{P}' V_j') + \frac{\partial}{\partial X_j} (\bar{P}' V_i') \right] + \mu \left(V_i' \frac{\partial^2 V_j'}{\partial X_k^2} + V_j' \frac{\partial^2 V_i'}{\partial X_k^2} \right) \quad (1)$$

где (\bar{V}, \bar{P}) - осредненные скорости и давления, (V', P') - скорость и давление турбулентных вихрей, $\sigma_{ij} = -\rho \bar{V}_i' \bar{V}_j'$ - турбулентные напряжения.

На рис.1 представлена полученная в результате расчетов векторная картина течения в рабочей части аппарата ВЗП-2Т:



1 – ввод верхнего потока; 2 – выход очищенного потока; 3 – ввод нижнего потока; 4 – бункер.

Рисунок 1 – Расчет векторного поля аксиальной скорости в рабочем объеме аппарата (повернуто на 90°).

Как видно из рис. 1, несмотря на некоторую неравномерность потоков, имеется достаточно четкое разделение кольцевого нисходящего потока (синие и голубые стрелки) и цилиндрического восходящего потока (розовые, красные и желтые стрелки). Граница раздела потоков примерно соответствует радиусу выхлопной трубы. Распределения тангенциальной скорости по высоте аппарата примерно одинаковые, с возрастанием к выходу. В верхней части рабочего объема максимальное значение тангенциальной скорости близко к радиусу выхлопной трубы. Такие характеристики рабочей области позволяют применить для описания энергозатрат схему моделирования, аналогичную примененной в работе [5]. Будем рассматривать энергозатраты в аппарате исходя из общих представлений о диссипации внутри всего объема аппарата. При этом общепринятые выражения для потерь давления по каждому входу будем сочетать с характерными особенностями закрученного потока. Из проведенных расчетов, а также из большого количества экспериментальных данных по закрученным течениям [6], следует, что увеличение энергозатрат в таких потоках связано как с большими градиентами течения непосредственно в объеме аппарата, так и со значительным влиянием закрутки потока. Определим понятие интенсивности крутки на входе через конструктивные характеристики завихрителей:

$$\Phi_{in(1,2)} = S_{1,2} R_T R^2 / ((R - R_T^2) R_{in}) \quad (2)$$

где R – внутренний радиус корпуса аппарата; S – интегральный параметр крутки [5]; R_T – радиус выхода; R_{in} – центр входа потока. Учтем потери крутки при движении вдоль кольцевого и цилиндрического каналов:

$$\Phi_{TK} = \frac{\Phi_{in(k)}}{1 + h_k \lambda \Phi_{in(k)} / R_T}, \quad k = 1, 2 \quad (3)$$

где $h_1 = H$, $h_2 = H + h_T$; H - высота рабочей зоны; h_T - высота трубы; λ – коэффициент потерь крутки. Приведя коэффициенты сопротивления каналов к радиусу выхлопной трубы получаем:

$$\xi_{TK}^o = \frac{R_T \Phi_{TK}^2}{R} \left[\frac{1}{1 - \frac{K h_k \Phi_{TK}}{R_T}} - 1 \right] + B_K \Phi_{TK}^{1,33} + \Phi_{TK}^2, \quad k = 1, 2 \quad (4)$$

здесь $K = Q_2 / Q$ – соотношение расхода второго потока и общего расхода газа через аппарат. Обобщая расчетные данные и эксперименты работы [6], для всего интервала соотношения расходов $K = (0,1)$ получаем:

$$\xi_K = \xi_{TK} \frac{V_T^2}{V_0^2}, \quad B^* = B_1(1 - K) + B_2 K, \quad K = 1, 2; \quad (5)$$

$$\xi_{T1} = 1,235 \xi_{T1}^o (1 - K) + (3,95 - 1,79 \Phi_{in(1)}) K + 3,13 \Phi_{in(1)} (K - K_*)^{1,33} \quad (6)$$

$$\xi_{T2} = 1,235 \xi_{T2}^o K^{(2+0,1\Phi_{in(2)})} + 0,865 \left[B^* (\Phi_{T2}^*)^{1,33} + \Phi_{T2}^2 \right] \quad (7)$$

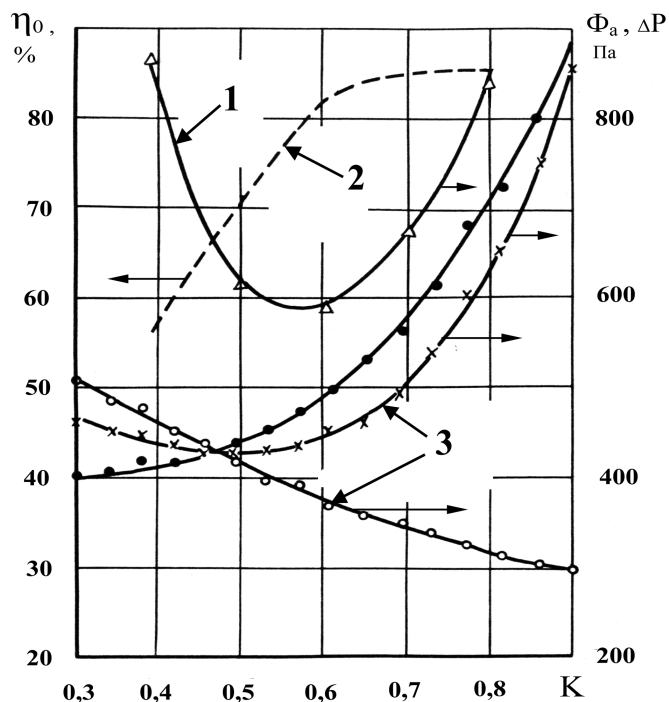
На рисунке 2 представлены рассчитанные зависимости энергозатрат и экспериментальные данные по эффективности очистки для модели аппарата ВЗП с критическим соотношением расходов потоков $K_* = 0,43$ (точка минимума потерь давления).

Для характеристики режима работы с точки зрения удельной эффективности введен критерий:

$$\Phi_e = \frac{100 \cdot \Delta P_e}{\eta} \quad (8)$$

где ΔP_e - фактические потери давления в аппарате; η - эффективность очистки.

Как видно из рисунка 2 оптимальные значения эффективности лежат несколько правее точки минимума энергозатрат. Из рисунок 3 следует, что расчетные данные по модели (2-7) достаточно хорошо совпадают с экспериментом.



1 – критерий Φ_a ; 2 – данные по эффективности очистки; 3 – потери давления.

Рисунок 2 – Зависимость интегральных характеристик от соотношения потоков

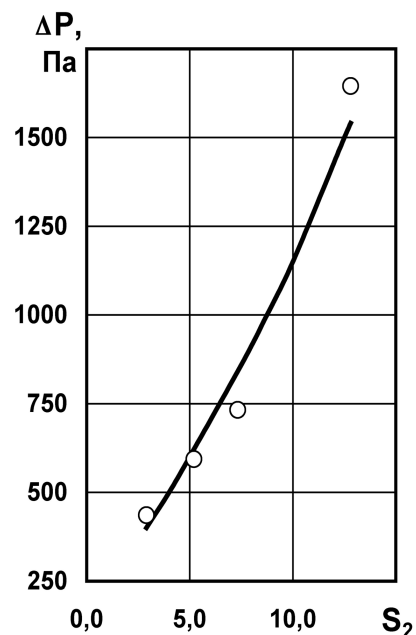


Рисунок 3 – Рассчитанные (сплошная линия) и экспериментальные значения потерь давления в зависимости от крутки верхнего завихрителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштик М.А. Вариационная модель турбулентного вращающегося потока // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1985. – №9. – с. 22–32.
2. Белоусов А.С., Сафонов С.Г. Структурный подход к расчету пылеулавливания в циклонах // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2016): сборник материалов Международной научно-технич. конференции. Часть 2. – М.: ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2016. – С. 265-269.
3. Белоусов А.С., Сажин Б.С. Поля скоростей в вихревых аппаратах // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006, № 2.– С. 100-105.
4. Белоусов А.С., Овсянников Д.А., Филатикова М.М., Соболева Е.В. Задачи 3-D моделирования технологических аппаратов и устройств экозащиты // Эргодизайн как инновационная технология проектирования изделий и предметно-пространственной среды: инклюзивный аспект: сб. научных трудов Часть 2. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2019. – с. 88-92.
5. Белоусов А.С., Сажин Б.С., Лопиков А.В. К расчету потерь давления в вихревом аппарате // Успехи в химии и химической технологии. Т. XIX. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2005. №10 (58). С. 62–64.
6. Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. – М.: Машиностроение, 1982. – 200 с.

УДК 550.34: 004.94: 534.6

**ОПОВЕЩЕНИЕ ГРАЖДАН О ПРИБЛИЖЕНИИ РАЗРУШИТЕЛЬНОЙ
СЕЙСМИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ
NOTIFICATION OF CITIZENS ABOUT THE APPROACH OF A DESTRUCTIVE
SEISMIC WAVE**

Владимир Андреевич Акатьев*, Е. В. Метелкин, Л. В. Волкова*
Vladimir A. Akatev*, E. V. Metelkin**, L. V. Volkova***

*Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана,
Россия, Москва*

**Bauman Moscow State Technical University, Russia, Moscow*

***Российский государственный социальный университет», Россия, Москва*

***Russian State Social University, Russia, Moscow*

Аннотация: В США и Японии действуют системы упреждающего оперативного оповещения населения о приближении разрушительных сейсмических событий. Аналогичная система с учетом особенностей расположения сейсмоактивных территорий может быть создана в России. Такая система упреждающего оповещения о приближении сейсмической волны должна быть полностью автоматизированной и адресной, учитывать сейсмостойкость конкретных зданий.

Abstract: In the United States and Japan, there are systems of pre-emptive rapid warning of the population about the approach of destructive seismic events. A similar system, taking into account the location of seismic areas, can be created in Russia. Such a system of pre-emptive warning about the approach of a seismic wave should be fully automated and targeted, taking into account the seismic resistance of specific buildings.

Ключевые слова: оперативный прогноз землетрясения, сейсмическое событие, сейсмическая волна, упреждение, система оповещения о приближении события.

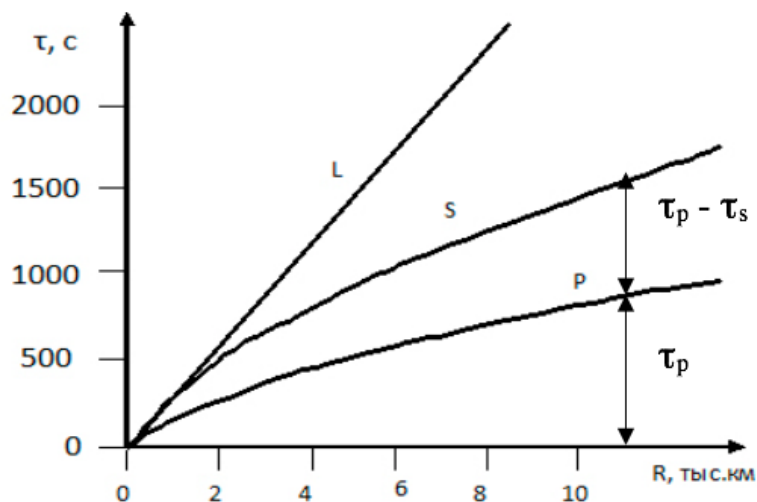
Keywords: operational earthquake prediction, seismic event, seismic wave, pre-emption, warning system about the approach of the event.

На сейсмоактивных территориях России, где интенсивность землетрясений достигает 8–9 баллов, проживают 2 млн человек, поэтому сегодня объективно существует необходимость создания в России системы упреждающего оповещения населения о приближении разрушительного события при землетрясении.

Известно, что поперечные волны S по сравнению с продольными волнами P распространяются с меньшей скоростью [1, 2, 3, 6, 7] (рисунок 1).

Мгновением для начала оповещения горожан о приближении сильной поперечной волны служит время, в которое к городу пришла продольная волна. По разнице скоростей распространения указанных волн можно оценить запас времени до прихода поперечной волны и объявить заблаговременную эвакуацию людей из зданий с упреждением в несколько десятков минут.

Сегодня успешно функционируют системы раннего предупреждения о землетрясениях [4, 5, 8, 9, 11, 12] в Японии и США. Так, Япония развернула систему раннего предупреждения, которая может определить источник и силу землетрясения, а также отправить публичные оповещения по средствам массовой информации – и все это примерно за минуту до прихода разрушающего события. Высокая эффективность такой системы связана с большим количеством сейсмических станций (более 1000 на всем побережье Японии) [4, 5, 8, 9, 11, 12].



τ – время; R – расстояние от эпицентра землетрясения;
 τ_p – время пробега от очага до станции;
 $(\tau_p - \tau_s)$ – разность промежутка времени между приходом волн P и S .

Рисунок 1 – Время прихода сейсмических волн P, S, L в зависимости от расстояния от эпицентра землетрясения

В России на Камчатке сеть сейсмических станций работает уже более 50 лет, но их деятельность связана, в основном, с непрерывной регистрацией всех сейсмических сигналов. Сейсмический риск для Камчатки высокий, например для Петропавловска-Камчатского повторяемость возникновения интенсивности 9 баллов равна $0,02 \text{ год}^{-1}$ [1, 10]. Вклады в эту повторяемость создают землетрясения. Очаги землетрясения наиболее часто происходят в области тихоокеанской сейсмофокальной зоны (рисунок 2).

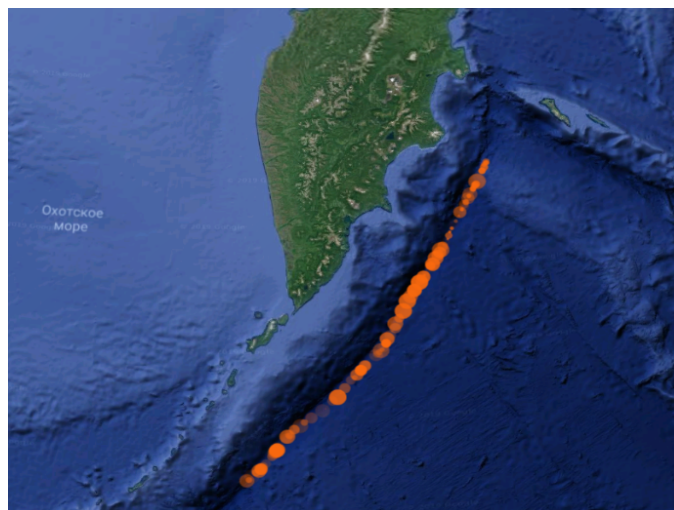


Рисунок 2 – Тихоокеанская фокальная зона

Очаги землетрясений находятся на расстоянии 50-70 км от побережья [1, 10]. На расстоянии более 80-100 км от Петропавловска-Камчатского могут происходить землетрясения интенсивностью до 7,5-8 баллов. При этом скорости прихода сейсмических волн оцениваются $v_p=6,45 \text{ км/с}$; $v_s=3,65 \text{ км/с}$. Время упреждения для Петропавловска-Камчатского оценивается величиной 15 с. Располагаемое время упреждения в целом для полуострова находится в диапазоне значения от 30 до 60 с.

Схема контроля и управления информированием и оповещением населения, проживающего в доме на сейсмоактивной территории, представлена на рис.3.

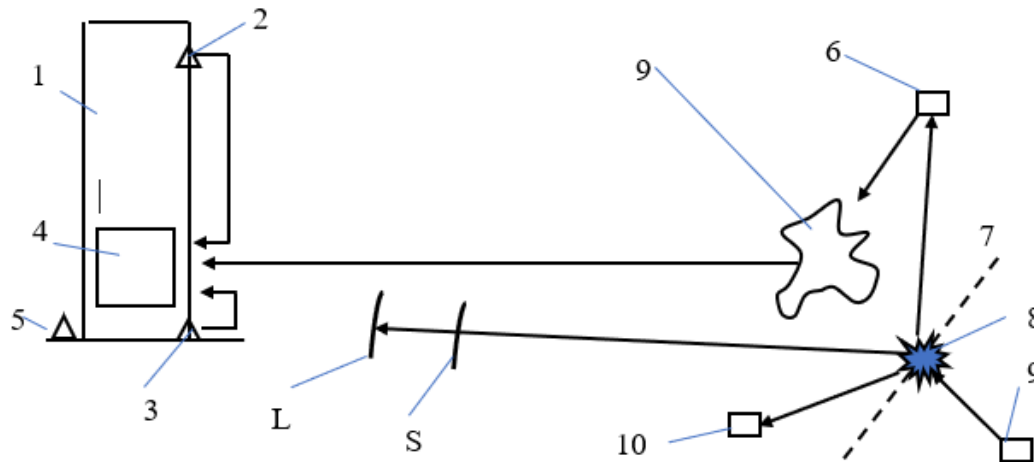


Рисунок 3 – Схема контроля и управления оповещением

На рисунке 3 показаны геофизические станции 6, 9 и 10, расположенные вблизи тектонического разлома 7, способные зафиксировать время, мощность и координаты очага 8 события. В доме 1 размещен контроллер 4, осуществляющий получение мониторинговой информации от датчиков 2, 3, 5 на здании и фундаменте, от сейсмографов на сеймостанциях и обмен информацией посредством беспроводной связи. Контроллер оснащен интерфейсом для возможности управления оповещением через Интернет 9. На рисунке показано мгновение, когда продольная сейсмическая волна Р обошла поперечную сейсмическую волну S.

Задача контроллера состоит в том, чтобы обработать сигнал в реальном времени или записать исходный сигнал, проанализировать его и однозначно определить наличие события. Записанный датчиком сигнал усиливается и отфильтровывается от естественного шума. Далее сигнал поступает в АЦП, где оцифровывается, и поступает в ПК, где осуществляется их визуализация и архивация. Сейсмологом производится обработка сейсмического события - определяются основные параметры землетрясения (время в очаге, географические координаты, магнитуды события) по набору времен вступления сейсмических волн и соответствующих значений амплитуд.

Алгоритм решения об эвакуации представлен на рисунке 4.

Специальная программа в течение 2-х секунд способна определить интенсивность будущего землетрясения и его местоположение, спрогнозировать возможные риски для людей, сформировать и отправить СМС-сообщения жителям опасной зоны. Такая система позволит исключить ошибки, связанные с человеческим фактором.

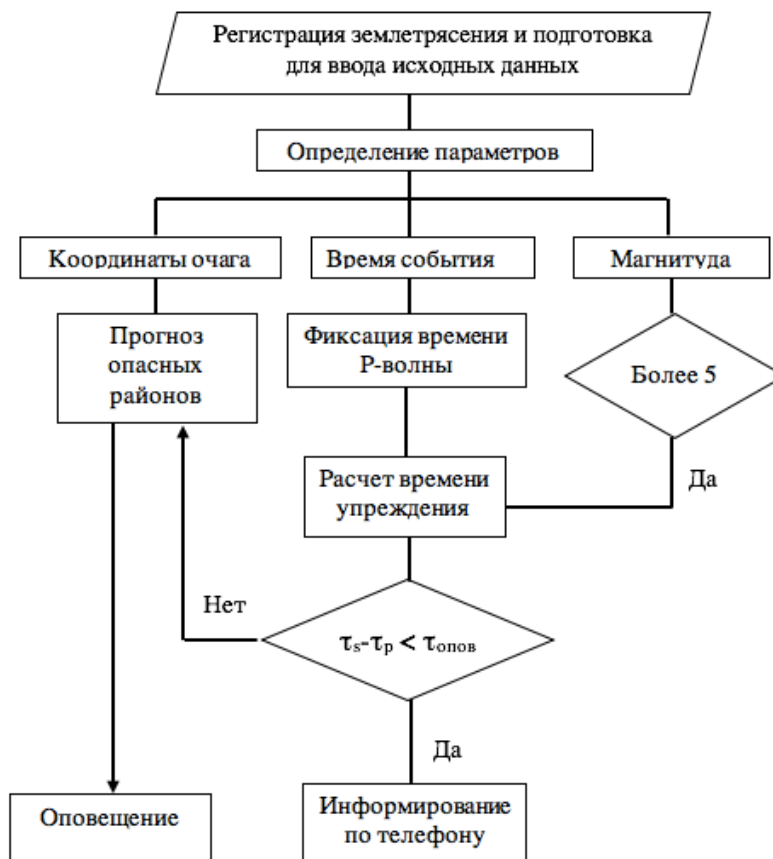


Рисунок 4 – Алгоритм принятия решения об эвакуации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Страхов В.Н., Уломов В.И., Шумилина Л.С. Общее сейсмическое районирование территории России и сопредельных регионов // Физика Земли. 1998. №10.
2. Gutenberg B., and Richter C.F. Seismicity of the Earth and associated phenomena. Princeton University Press Tahun: Deskripsi Fisik: 1954. 310 p.
3. Акатьев В.А., Метелкин Е.В., Нигметов Г.М. Методы и средства оценки и снижения сейсмического риска. Обзор / Безопасность в техносфере. 2016. Т. 5. № 5. С. 75-86.
4. Erin R. Burkett, Douglas D. Given. ShakeAlert—An Earthquake Early Warning System for the United States West Coast / Erin R. Burkett, Douglas D. Given. – текст: электронный // USGS science for a changing world: [сайт]. -2014. – URL: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/fs20143083> (дата обращения 12.03.2019).
5. Mikio Ishiwatari. Tsunami and earthquake warning systems. // World Bank Institute. - 2012. No. 2-5.
6. Chebrov V. N., Droznin D. V. The System of Detailed Seismological Observations in Kamchatka in 2011 / V. N. Chebrov, D. V. Droznin, Yu. A. Kugaenko, V. I. Levina // Kamchatka Branch, Geophysical Service, Russian Academy of Sciences. - 2013. No. 1
7. Назарова Л.А., Назаров Л.А. Метод определения параметров очага готовящегося землетрясения на основе данных о смещениях дневной поверхности. // Доклады академии наук, Т.427. 2009. №4. С.534-538.
8. Sarah E. Minson. The Limits of Earthquake Early Warning Accuracy and Best Alerting Strategy / Sarah E. Minson, Men-Andrin Meier, Annemarie S. Baltay, Thomas C. Hanks // Science Advances. 2018. Vol. 4. No.3.
9. Kate Ravillious. Italian earthquake data hint at possibility of forecasting one type of quake / Kate Ravillious. - Текст: электронный // Nature. International journal of science: [сайт]. – 2018. – 23 окт. – URL: <https://www.nature.com/articles/d41586-018-07017-5> (дата обращения 10.03.2019).

10. Гусев А.А. Об оценке сейсмической опасности для города Петропавловска-Камчатского на основе набора сценарных землетрясений / А.А. Гусев, Л.С. Шумилина, К.Н. Акатова // Вестник отделения наук о Земле РАН. 2005. №1 (23).

11. J. Yanes. Can earthquakes be predicted? / J. Yanes. – Текст: электронный// OpenMind: [сайт]. - 2017. – URL: <https://www.bbvaopenmind.com/en/science/environment/can-earthquakes-be-predicted/> (дата обращения 10.03.2019).

12. Jean Kumagai. How to Master a Seismic Disaster. / Jean Kumagai. – Текст: электронный // IEEE Spectrum: [сайт]. - 2007. – URL: <https://spectrum.ieee.org/energy/the-smarter-grid/how-to-master-a-seismic-disaster> (дата обращения 12.03.2019).

УДК 613.1

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ
НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ECOLOGICAL SAFETY OF INVESTMENT PROJECTS OF OIL AND GAS INDUSTRY
OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

**Пакиза Илимдаровна Ибрагимова
Pakiza I. Ibragimova**

*АО «O'ZLITINEFTGAZ» (Промышленная и экологическая безопасность),
Узбекистан, Ташкент*

*JSC «O'ZLITINEFTGAZ» (Industrial and ecological safety), Uzbekistan, Tashkent
(e-mail: ecolog405@yandex.ru)*

Аннотация: Рассмотрены некоторые особенности обеспечения экологической безопасности на Устюртском газохимическом комплексе.

Abstract: Some features of ensuring ecological safety at the Ustyurt gas-chemical complex are considered.

Ключевые слова: экологическая безопасность, выбросы, эмиссия парниковых газов, сточные воды, отходы, биоразнообразие, мероприятия.

Keywords: ecological safety, emissions, greenhouse gas emissions, wastewater, waste, biodiversity, activities.

Нефтегазовая индустрия в Узбекистане является ведущей отраслью экономики, играет важную роль в социально экономическом развитии страны.

Согласно, экспертным оценкам, в Узбекистане сосредоточена треть всех минерально-сырьевых запасов Центральной Азии, а по добыче газа страна занимает восьмое место в мире и занимает третье место среди стран СНГ, после России и Туркменистана. На сегодняшний день в пяти нефтегазоносных регионах Узбекистана открыто 211 месторождений углеводородного сырья, из них 108 газовых и газоконденсатных, 103 – нефтегазовых, нефтегазоконденсатных и нефтяных [1]. Половина месторождений была открыта за годы независимости, из них 15 – силами иностранных инвесторов, согласно инвестиционной политике. Основная часть инвестиций в нефтегазовой отрасли направлена на строительство новых предприятий, реконструкцию и расширение действующих.

Экологическое сопровождение проектов – многокомпонентный процесс, включающий в себя оценку воздействия намечаемой деятельности на окружающую среду, разработку и реализацию мер по защите окружающей среды и компенсации ее негативных изменений, экологическую экспертизу проектных решений и контроль их исполнения на практике.

Целью деятельности, осуществляемой посредством реализации инвестиционного намерения в виде самых различных проектов, является получение определенных результатов (продуктов), в которых заинтересованы его организаторы. Целью экологического

сопровождения проектов является создание условий, при которых в идеале отрицательные последствия воздействия намечаемой деятельности на окружающую среду будут отсутствовать, а на практике минимизированы до уровня, позволяющего говорить об экологической безопасности реализации инвестиционного намерения.

Основными направлениями экологической безопасности в условиях нефтегазовой отрасли являются снижение выбросов загрязняющих веществ (в т.ч. парниковых газов); очистка сточных вод; переработка и утилизация отходов производства и потребления.

Совместно с консорциумом компаний Республики Корея реализован проект по строительству Устюртского газохимического комплекса (УГХК) на плато Устюрт. В целом, проект включает в себя добычу и транспортировку углеводородов из Сургильского месторождения, эксплуатацию газохимического комплекса, который предусматривает технологию глубокой переработки природного газа (4,5 млрд.м³/год) и газового конденсата (162,0 тыс.т/год), а также продажу продукции. Согласно Проекту, в период с 2007 по 2025 гг. будет проведена разработка в общей сложности 133 скважин Сургильского месторождения, а на УГХК предусмотрено получение товарного газа, полиэтилена высокой плотности, полипропилена, пиролизного дистиллята, пиролизного масла.

Установки и все оборудование комплекса спроектированы в соответствии с современными условиями и применяемыми нормативами и стандартами, обеспечивающими безопасную эксплуатацию и удовлетворяющие требованиям к предельным объемам выбросов и установленным ограничениям.

Процесс переработки газа и газоконденсата образует источники загрязнения воздушного бассейна. Всего по предприятию установлено 49 источников выделения, 34 источника выбросов, из которых 23 организованных. Нормативный валовый выброс в атмосферу предприятия составляет 4123,837 т/год загрязняющих веществ 18-ти наименований. Основной вклад при этом вносится оксидом углерода 54,56 % и диоксидом азота 25,09 % (рисунок 1).

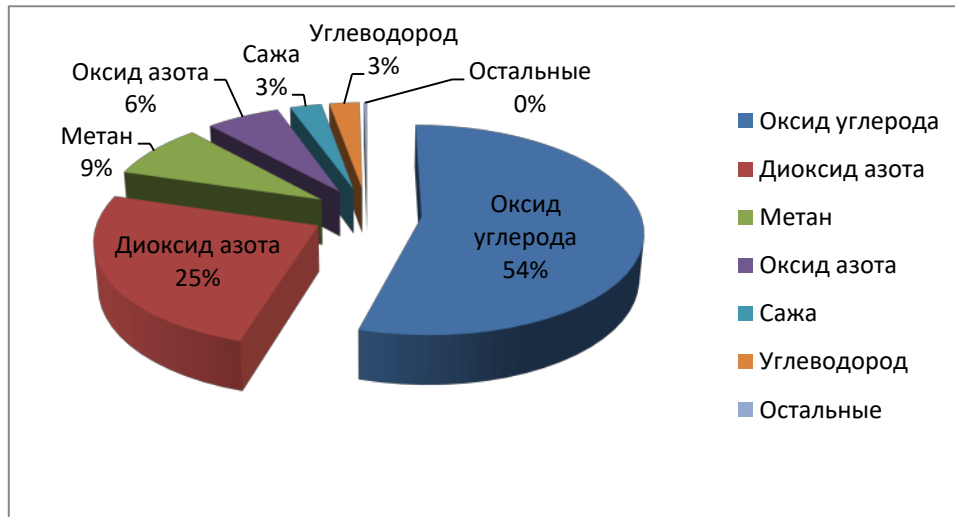


Рисунок 1 – Диаграмма вклада загрязняющих веществ в валовый выброс

Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферу выполнен согласно методике [2], которая была разработана в нашем отделе и апробирована в нефтегазовой отрасли.

Проведенный расчет полей рассеивания максимальных приземных концентраций показал, что максимальные приземные концентрации ни по одному выбрасываемому ингредиенту за пределами установленного СЗЗ (4500 м) не превышают установленных квот для Республики Каракалпакстан.

С целью уменьшения и предотвращения загрязнения атмосферного воздуха при эксплуатации УГХК предусмотрены мероприятия, позволяющие свести до минимума технологические выбросы и вероятность возникновения аварийных ситуаций. Мероприятия

условно можно разделить на технологические, способствующие сокращению объемов выбросов и снижению их приземных концентраций, и профилактические, обеспечивающие безаварийную работу оборудования.

В местах, где выбросы газа способствуют превышению стандартов уровня качества окружающего воздуха рабочей зоны, установлены вторичные средства управления выбросами, такие как пароконденсаторные регенерационные агрегаты, каталитические окислители, топливные аппараты сгорания пара, или среды для поглощения газа.

Огромное природоохранное значение имеет сокращение выбросов сжигаемых газов, вызывающих парниковый эффект, которое достигается выполнением следующих мероприятий:

- использование эффективного комбинированного цикла газовых турбин для обеспечения тепловой и электрической энергией;
- обеспечение высокоэнергетической эффективности путем оптимизации всех процессов сжигания, связанных с выбросом загрязняющих веществ;
- минимальное использование факельной установки при нормальном режиме эксплуатации;
- оперативное реагирование на утечки летучих газов и своевременное проведение соответствующих действий по их устранению.

Для водоснабжения УГХК используется вода поверхностного источника – реки Амударья. Общая годовая потребность в воде на производственные и хозяйственно-питьевые нужды предприятия (с учетом жилого поселка УГХК) составляет 10942,44 тыс.м³, в том числе на производственные нужды 10536,082 тыс.м³.

Общий объем сточных вод, поступающий на очистные сооружения составляет 2513,173 тыс.м³/год.

В основу работы установки очистки сточных вод заложен метод совместной физико-химической и биологической очистки производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод с дальнейшим сбросом очищенных стоков в искусственный водоем с целью последующего их использования в качестве резервного источника водоснабжения.

Природоохранными мероприятиями, направленными на рациональное использование водных ресурсов при эксплуатации УГХК, являются предусмотренные проектом:

- бессточная система водоснабжения, при которой все виды сточных вод предприятия очищаются на установке очистки сточных вод до качества, позволяющего повторно использовать сточные воды в технологическом процессе;
- оборотная система охлаждающей воды;
- установка повторного использования сточных вод, позволяющая очищать сточные воды повторного использования промывочных и продувочных вод в качестве подпитки оборотной воды установки охлаждающей системы после соответствующей очистки;
- искусственный водоем емкостью 3 млн.м³, предназначенный для временного хранения очищенных сточных вод и подачи их на предприятие по потребности;
- дренажная система ливневых стоков, собирающая с поверхности промышленных площадок дождевые и талые воды и подающая их в приемный резервуар очистных сооружений.

Принятые проектом решения по водоснабжению УГХК, постоянный мониторинг расходов и качества поступающей и сточных вод, эффективная эксплуатация искусственного водоема за счет максимального использования в технологическом процессе очищенных сточных вод способствуют минимизации использования сырой воды, поступающей от Тахиаташского водозабора, т.е. обеспечивают рациональное использование поверхностных вод р. Амударья.

Деятельность УГХК обусловлена образованием отходов практически на всех стадиях технологического процесса, начиная от переработки газа и газоконденсата и выхода продукции, а также на объектах общезаводского хозяйства. Всего от деятельности

предприятия образуются отходы 28 наименований. Общее количество образуемых отходов производства и потребления составляет 31014,412 тонн, из них: отходы 1-го класса опасности – 46,26 т; отходы 2-го класса опасности – 171,57 т; отходы 3-го класса опасности – 25320,911 т.

Расчет норм образования отходов проводился согласно проектным данным и методике [3], разработана в нашем отделе и впервые позволила установить единые методы расчета норм образования отходов для предприятий нефтегазовой отрасли, а также используется для оценки их влияния на окружающую среду и принятия мер по улучшению экологической обстановки.

Меры по охране окружающей среды при обращении с отходами направлены на предотвращение загрязнения воздушного бассейна, земли, поверхностных и подземных вод углеводородами, химреагентами, минерализованными водами, производственными отходами и отходами жизнедеятельности и включают:

- организация специализированного полигона размещения отхода;
- селективное накопление отходов с целью их дальнейшей транспортировки, обезвреживания, утилизации и захоронения;
- определение производственных объектов по переработке и утилизации отходов, которые находятся в непосредственной близости от УГХК;
- передача отходов I-II классов опасности на переработку только лицензированным специализированным организациям;
- обеспечение соблюдения периодичности удаления жидких и твердых отходов на полигон отходов;
- рассмотрение возможности повторного использования и рециркуляции отходов в соответствии с современными передовыми методами обработки.

Одним из приоритетов деятельности УГХК является безопасность производства и охрана окружающей среды. Предприятие стремится к сохранению баланса между результатами производственной деятельности и состоянием экологии на территории комплекса и за его пределами посредством обеспечения безопасных условий труда, защиты здоровья персонала и населения близлежащих населенных пунктов, а также сохранением биоразнообразия и благоприятной окружающей среды.

Плато Устюрт представляет собой не только важную зону для добычи топливных ресурсов, но также является экосистемой большой важности и местом обитания ряда редких видов флоры и фауны. Плато Устюрт – это, во-первых, уникальное сообщество гипсовых пустынь, во-вторых, место обитания редких и исчезающих видов животных, таких как устюртский баран, джейран, степной орел, обыкновенный змеяд, в-третьих, эта местность имеет своеобразные растительный покров и рельеф, которые важно сохранить. И, наконец, плато Устюрт – это среда обитания сайгака, популяция которого подверглась значительному сокращению (по данным Государственного комитета по экологии и охране окружающей среды более чем на 95 %) [4].

И у животных, как и растений - свой ритм жизни. Каждый вид является важным элементом экосистемы и определяет ее целостность. Экосистемы пустынь и полупустынь Устюрта крайне уязвимы, что определяется суровостью природно-климатических условий, древностью происхождения и высокой степенью изоляции плато Устюрт.

Индустриальное развитие, в том числе нефтегазовые операции, угрожает биоразнообразию, так как связано с негативным влиянием на среду обитания. Деятельность нефтегазового сектора на плато Устюрт все больше развивается, как следствие растут прямые потери биоразнообразия.

В связи с отсутствием в Узбекистане практического опыта, одной из моделей по сохранению биоразнообразия является схема компенсации ущерба биоразнообразию на примере опыта Австралии (штат Виктория). Для компенсации невосполнимых потерь биоразнообразия при деятельности УГХК был разработан и реализуется «План действий по сохранению биоразнообразия», а также проведены работы по компенсации ущерба

биоразнообразие путем восстановления растительности на 625 га, из них 620 га – саксаула, 5 га – декоративных растений. Предприятие также оказывает финансовую помощь и материально-техническую поддержку инспекционным группам, ответственным за контроль незаконной охоты и браконьерства.

Таким образом, на примере УГХК показано, что нефтегазовый сектор имеют свою специфику мероприятий и их направленность на минимизацию негативного воздействия на окружающую среду и, в первую очередь, на смягчение наиболее значимых негативных воздействий – это выбросы в атмосферу, сброс сточных вод, размещение отходов, а также сохранение биоразнообразия для устойчивой экологической безопасности.

Выводы

Проведено исследование обеспечения экологической безопасности инвестиционного проекта Устюртского газохимического комплекса на период эксплуатации. Предусмотрены мероприятия, позволяющие свести до минимума воздействие на окружающую среду, рациональное использование природных ресурсов и вероятность возникновения аварийных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайидов У.С. Флагман промышленности и структурных преобразований. // Узбекский журнал Нефти и газа, специальный выпуск. Ташкент, 2018. 6-11с;
2. РН 39.5-054 «Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для нефтегазодобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий», г. Ташкент, 2012. 4-35с.
3. РН 39.2-193 «Методика по расчету норм образования отходов для нефтегазодобывающих и газоперерабатывающих предприятий Республики Узбекистан», г. Ташкент, 2018. 9-35с.
4. Панкратьева П.В. под редакцией. Геоэкология плато Устюрт. Республика Узбекистан/Региональная экология Средней Азии. Контрактные площади ОАО «Газпром». Оренбург, 2009. 91-101с.

УДК: 327 + 332.122

СПЕЦИФИКА И РИСКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИЭ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ SPECIFICS AND RISKS OF USING RES IN THE RUSSIAN ARCTIC

**Дмитрий Александрович Соловьев
Dmitry A. Soloviev**

*Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН),
Россия, Москва*

*Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow
(e-mail: solovev@guies.ru)*

Аннотация: Рассмотрены специфика и риски для развития возобновляемой энергетики в Арктических регионах России. Приведены результаты исследования по управлению факторами риска адаптации оборудования ВИЭ.

Abstract: The specifics and risks for renewable energy in the Arctic regions of Russia are considered. The results of a study on the management of risk factors for the adaptation of renewable energy equipment are presented.

Ключевые слова: Арктика, управление рисками, децентрализованная энергетика, возможности для бизнеса, возобновляемые источники энергии

Keywords: Arctic, risk management, decentralized energy, business opportunity, renewable energy resources

В связи с растущим интересом к освоению территорий и ресурсов Российской Арктики, всё более актуальным становится вопрос о комплексном и устойчивом развитии энергетической инфраструктуры региона, обеспечивающей комфортные условия работы и проживания и минимизирующей антропогенное воздействие на окружающую среду.

Различные типы генерации, использующие возобновляемые источники энергии (ВИЭ) в Арктической зоне России, подвержены специфическим видам рисков, которые наряду с финансово-инвестиционными, ресурсными и операционными будут обусловлены климатическими особенностями региона и его удаленностью от центра. Отдельно, стоит выделить фактор риска, связанный с происходящими сейчас глобальными климатическими изменениями. Очевидно, что в арктическом регионе приоритетной задачей при сооружении объектов энергетики на основе ВИЭ, является разработка проектов строительства электростанций с использованием инновационных технических решений, обеспечивающих минимальные риски для окружающей среды и надежную эксплуатацию в различных климатических условиях [1]. С учётом удаленности населённых пунктов друг от друга, особое значение приобретает автономное энергоснабжение объектов навигации и связи с применением местных возобновляемых источников. Кроме того, для Арктического региона характерно значительное число потребителей, живущих и работающих вне населённых пунктов (нефтяники, моряки, геологи, туристы, охотники, военнослужащие). Наличие таких потребителей делает весьма актуальным использование лёгких и компактных накопителей энергии в комбинации с ВИЭ.

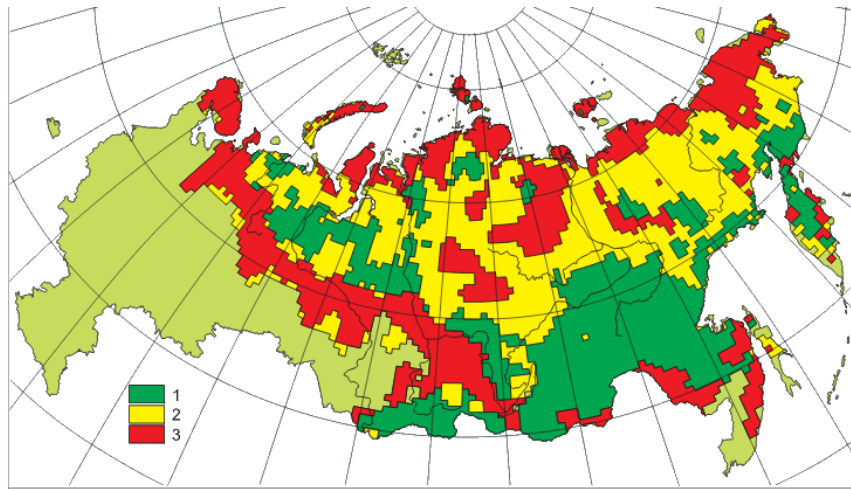
В этой связи необходимо исследовать все значимые факторы, по которым могут оцениваться основные риски, присущие энергосистемам возобновляемых источников энергии в суровых Арктических условиях. Так, например, фактор риска недополученной прибыли при осуществлении инвестиционного проекта в сфере возобновляемой энергетики (инвестиционный риск) возможно, оптимизировать в случае перехода на сооружение установок комбинированного энергоснабжения небольшой мощности с использованием гибридных энергоустановок.

Ресурсные риски, связанные с пространственно-временными изменениями параметров генерации энергоустановок на возобновляемых источниках энергии, должны устраняться использованием достоверных знаний о потенциалах возобновляемых ресурсов, актуализированных применительно к конкретным территориям размещения объектов возобновляемой энергетики.

К ресурсным факторам риска можно отнести и процессы, обусловленные глобальными климатическими изменениями. Согласно опубликованным в марте 2018 г. данным Доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 году для Арктического региона годовая сумма осадков в 2017 г. была существенно выше нормы [2]. Как ожидается дальнейший рост числа осадков в Арктике приведёт к её заболачиванию. Этот эффект может проявиться сильнее всего в центральной и восточной части арктического побережья. Практически синхронно идёт сокращение, как общей площади арктических льдов, так и ледового покрытия сибирских морей (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское). Наглядным свидетельством потепления климата служит таяние многолетней, т.н. вечной, мерзлоты [3]. Данные наблюдений говорят также о прогрессирующем увеличении сезонно-талого слоя мерзлоты и величины просадки грунта за последние 10 лет в отдельных районах российской Арктики на 14 - 80% (Колымская низменность, Восточная Чукотка, Большеземельская тундра). Отмечен сдвиг к Северу области распространения мерзлоты в целом.

Глобальные климатические изменения несут риски для существующей сегодня арктической инфраструктуры, что, безусловно, скажется на перспективах развития всего региона. Деграция мерзлоты представляет большую опасность для расположенных в районах Крайнего Севера зданий, дорог, и других инженерных сооружений. Многие сооружения построены на свайных фундаментах, используют многолетнемёрзлый грунт в качестве оснований и рассчитаны на эксплуатацию в определённых температурных условиях

[4]. Во многих районах Арктики и, в частности, на Чукотке, риск для зданий и инфраструктуры в целом высокий, несмотря на относительно небольшое увеличение температуры летом, когда риск проседания сооружений наибольший (рисунок 1).



1- слабый риск, 2- средний риск, 3- высокий риск.

Рисунок 1 – Карта рисков для зданий и сооружений в зоне вечной мерзлоты. Данные Государственного гидрологического института [5].

При планировании адаптационных мер к глобальным климатическим изменениям в Арктическом регионе, безусловно, нужно предусматривать возможность двух-трёхкратного увеличения частоты сильных ветров, шквалов, штормов и т.п.

Несмотря на важность ресурсных рисков в Арктике, где наблюдается высокая пространственно-временная изменчивость ресурсных характеристик возобновляемых источников энергии, всё же наибольшую опасность представляет возникновение технологических рисков.

Причины возникновения факторов технологических рисков, выражающихся в сбоях в работе оборудования, могут быть связаны с ошибками, допущенными при выборе и проектировании технологического оборудования, нарушениями технологических процессов. Это может быть связано с особенностями эксплуатации энергетического оборудования ВИЭ в суровых климатических условиях. Избежать действия данного вида риска возможно с помощью осуществления мер безопасности, использования сертифицированного технологического оборудования, своевременного его ремонта и проведения адаптационных мероприятий. Так, для работы ВЭУ наибольшую опасность при работе оборудования в условиях Арктики могут представлять:

- снижение выработки ВЭУ из-за обледенения лопастей и оборудования;
- увеличение вибраций оборудования из-за дисбаланса от наледей;
- возникновение коротких замыканий при попадании влаги в электрическое оборудование;
- угроза поломки опор, башен и лопастей.

Для защиты оборудования от воздействия суровых климатических условий используется блочно-модульный принцип исполнения основного оборудования в контейнерах с высокой степенью защиты от внешнего воздействия окружающей среды, а в ряде случаев используется система климат-контроля. Механизмы гондолы и лопасти ветроустановок требуют дополнительных мер по защите от обледенения и буревых нагрузок при их конструировании и изготовлении. В случае возникновения поверхностного обледенения наблюдается резкое снижение номинальной мощности оборудования ВЭУ [6], вплоть до его полного отказа.

Экономически обосновать эффективность применения систем адаптации оборудования ВИЭ можно путём сравнения эффекта от снижения потерь ($S_{эф}$), вызванных воздействием неблагоприятных условий окружающей среды, и стоимости самих адаптационных мероприятий в отношении оборудования ВИЭ ($S_{мер}$). Для этого можно воспользоваться следующими соотношениями [7]:

$$S_{эф} = S_{п1} - S_{п2}; S_{пi} = P_{\Sigma i} \cdot W \cdot S_{ээ}; S_{мер} = S_{уст} + S_{то} + W_{СН} \cdot S_{ээ},$$

где $S_{ээ}$ - тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч; $S_{пi}$ - стоимость потерь без применения адаптационных мероприятий ($i = 1$) и с применением ($i = 2$), руб.; $P_{\Sigma i}$ - суммарные потери без применения адаптационных мероприятий ($i = 1$) и с их применением ($i = 2$), %; W - годовая выработка электроэнергии без потерь от неблагоприятного воздействия окружающей среды, кВт·ч; $W_{СН}$ - годовой расход электроэнергии на проведение мероприятий по адаптации, кВт·ч; $S_{уст}$ - стоимость защитного мероприятия, руб.; $S_{то}$ - стоимость технического обслуживания мероприятия в процессе эксплуатации, руб.

Используя данную методику оценки с учётом статистической информации о работе энергоустановки и о погодных условиях в месте расположения объекта малой генерации (например, количество дней в году с условиями, способствующими обледенению лопастей ветровой турбины) можно сделать вывод о степени эффективности проведения адаптационных мероприятий оборудования ВИЭ. Так, например, выполненные оценки эффективности применения активных систем обогрева ВЭУ показали, что для пос. Амдермы такие системы неэффективны, так как минимальное число дней эффективного использования систем превышает число дней, когда происходят обледенения. В г. Анадыре, наоборот, минимальное число дней эффективного использования систем гораздо меньше числа дней с обледенениями, т.е. активные системы адаптации, будут наиболее эффективны.

Важным элементом мероприятия по адаптации различного оборудования ВИЭ к неблагоприятным климатическим условиям является также разработка интеллектуальных систем защиты (ИСЗ) от экстремальных условий (обледенения, порывов ветра и высокой влажности воздуха).

Одной из основных проблем адаптации, связанных с использованием энергоисточников на базе ВИЭ, которую должно решать использование ИСЗ, является проблема стабильности генерации мощности. Под стабильностью генерации понимается способность обеспечивать непрерывный поток мощности. Фактор стабильности и способность оказывать влияние на качество работы всей энергосистемы вносят дополнительные риски, оценки которых должны быть учтены на этапе проектирования. Такие риски наиболее актуальны на локальном уровне (например, энергосистема небольшого города, или посёлка), где нет возможности обеспечить постоянную стабильную отдачу мощности при совпадении частоты и фазы. Всё это в конечном итоге сказывается на качестве энергоснабжения конечных потребителей.

Выводы

Управление факторами риска, зависит от возможности оценить и уменьшить вероятность наступления того или иного рискованного события и своевременно провести адаптационные мероприятия. Все виды рисков могут быть разделены на потенциально изменяемые и неизменяемые, которые в свою очередь подразделяются на принимаемые и передаваемые. Изменяемые риски минимизируются в процессе подготовки инвестиционных проектов для энергообъектов и проведения мероприятий по климатической адаптации оборудования ВИЭ. Неизменяемые риски можно принять на себя или передать другим (например, с помощью хеджирования или страхования). Определение и ранжирование рисков по приоритетности, осознание их приемлемых уровней, возможностей минимизации является необходимым требованием при принятии управленческих решений в возобновляемой энергетике.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00945\19

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nefedova L. V., Solovyev A.A., Shilova L.A., Solovyev D.A. Risk factors during construction of power plants using renewable energy sources // Vestn. MGSU. 2016. № 12. P. 79-90. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.12.79-90
2. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год. Москва, 2018. 69 p.
3. Кокорин А.О., Карелин Д.В., Стеценко А.В. Воздействие изменения климата на российскую Арктику: анализ и пути решения проблемы. Москва, 2008. 28 p.
4. Анисимов О.А., Лавров С.А. Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК // Технологии ТЭК. 2004. № 3. P. 78–83.
5. Anisimov O., Reneva S. Permafrost and changing climate: the Russian perspective // AMBIO A J. Hum. Environ. 2006.
6. Елистратов В.В. Проблемы и решения создания эффективных систем энергоснабжения потребителей Заполярья с использованием инновационных технологий ВИЭ» // Арктика-2017(Арктика: шельфовые проекты и устойчивое развитие регионов) II Международная Конференция. Москва: ООО “Системный консалтинг,” 2017. P. 1–41.
7. Елистратов В.В., Денисов Р.С. Оценка потерь энергии при выборе оборудования ВЭУ для суровых климатических условий // Полярная механика Материалы третьей международной научной конференции! 27-30 сентября 2016. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2016. P. 896–907.

УДК 504.062.4

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЧИСТКИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВ ECOLOGICALLY SAFE ELECTROCHEMICAL METHOD OF OIL-CONTAMINATED SOILS CLEANING

**Николай Сергеевич Шулаев, Валерия Валерьевна Пряничникова,
Николай Алексеевич Быковский, Рамиль Римович Кадыров,
Раиса Мухаметовна Даминева
Nikolay S. Shulaev, Valeria V. Pryanichnikova, Nikolay A. Bykovsky,
Ramil R. Kadyrov, Raisa M. Damineva**

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, Стерлитамак
Ufa State Petroleum Technical University, Russia, Sterlitamak, Russia
(e-mail: prvaleria@mail.ru)*

Аннотация: В статье рассмотрены экологические аспекты и особенности применения метода электрохимической обработки почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, с целью их очистки.

Abstract: The article discusses the ecological aspects and features of the application of the method of electrochemical treatment of soils contaminated with oil and oil products with the aim of cleaning.

Ключевые слова: электрохимическая очистка, нефтезагрязненная почва, электроды, углеводороды, , грунт, очистка, фитотоксичность.

Keywords: electrochemical cleaning, oil contaminated soil, electrodes, hydrocarbons soil, cleaning, phytotoxicity.

Добыча и переработка нефти вызывает ряд серьезных экологических проблем, к которым относится и образование значительного количества такого отхода, как грунт, загрязненный нефтепродуктами. По официальным данным в 2017 году площадь земель,

загрязненных в результате деятельности крупнейших нефтедобывающих предприятий страны, составила более 3410 га [1].

Технологии восстановления загрязненных грунтов отличаются разнообразием. В данной работе рассматривается способ электрохимической очистки, который характеризуется достаточно низким энергопотреблением, позволяет восстанавливать свойства почв без высоких затрат на химические и биологические реагенты и не требует создания особых условий.

Метод основан на пропускании электрического тока с заданными характеристиками напряжения и плотности через загрязненный грунт. Для обработки в грунте подготавливаются скважины на глубину проникновения загрязнения, куда опускают электроды, присоединенные к источнику питания. В результате создания разности потенциалов загрязняющие вещества подвергаются электрокинетическому переносу к электродам. Параллельно протекают частичное испарение веществ в результате нагрева, электроокисление, электрокоагуляция, электрообииочистка и другие процессы.

Нефть вместе с водной фазой перемещается к катоду, откуда может удаляться при помощи насосного оборудования через специальные перфорированные трубки, расположенные в скважине, и в дальнейшем перерабатываться. При недостаточной влажности среды, либо при относительно низком содержании нефтепродуктов в некоторых случаях рациональнее создавать условия для протекания электроокислительных процессов. Они требуют гораздо более длительного времени обработки, однако идут при малых величинах плотности тока (порядка 1 мА/см²) [2]. Сам процесс так называемого электрохимического геоокисления (ElectroChemical GeoOxidation) обусловлен во многом присутствием в почве частиц, которые при воздействии тока поляризуются и могут действовать как микроэлектроды, способные индуцировать окислительно-восстановительные реакции вокруг себя. Содержание 1-2 % микропроводников (например, железосодержащих минералов) может значительно снизить сопротивление среды.

Было проведено экспериментальное изучение электрохимической очистки нефтезагрязненного грунта в лабораторных условиях. Для опытов готовилась модельная среда близкая к почвам нефтяных разливов при добыче (в почву вносилась нефть и 408,9 г/кг высокоминерализованного раствора, соответствующего пластовым водам месторождения и содержащего NaCl, CaCl₂, MgCl₂, Na₂SO₄, NaHCO₃). Изучались различные грунты: суглинок, глина и песок. Содержание нефти составляло от 1100 до 11000 мг на килограмм почвы. Модельная почва помещалась в ячейку из оргстекла, куда погружались графитовые электроды и подавался ток с плотностью от 40 до 350А/м².

Установлено, что эффективность очистки от нефтепродуктов для глины составила 84%, для суглинков – порядка 70-76%, для песка – 69% [3].

Более высокая степень очистки в глине объясняется высокой дисперсностью среды, что является важным показателем для электрокинетических процессов. Кроме того для реакций непрямого окисления нефтепродуктов необходимо наличие в почве ионов Fe⁺², которые практически отсутствуют в песке, что значительно ограничивает протекание окислительно-восстановительных реакции.

Во всех случаях установлена экспоненциальная зависимость снижения содержания нефтепродуктов в грунте от количества пропущенного заряда q :

$$\frac{C(t)}{C_{max}} = (1 - b)e^{-\alpha q} + b, \quad (1)$$

$$\alpha \sim 3 \div 5 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}^{-1}, b \sim 0,1 \div 0,35$$

где $C(t)$ - концентрация нефтепродуктов в момент времени t , мг/кг; C_{max} - начальная концентрация нефтепродуктов, мг/кг; α и b - коэффициенты, зависящие от типа почвы.

На рисунке 1 представлено сравнение процессов очистки суглинка разной степени загрязнения.

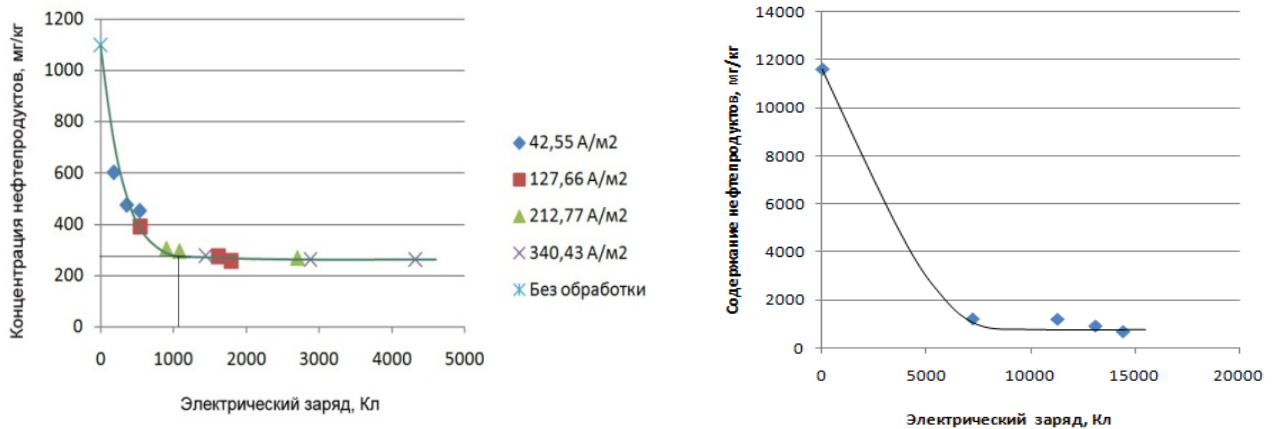


Рисунок 1 – Изменение содержания нефтепродуктов в результате пропускания электрического тока при различной степени загрязнения суглинка

Для уменьшения энергозатрат на обработку важную роль играет расположение электродов. Установка цилиндрических катодов и анодов параллельными батареями, соединенными каждая своей шиной, позволяет создавать в межэлектродном пространстве электрическое поле, близкое к однородному, что снижает сопротивление среды.

Рассчитаны основные электрические параметры процесса [4].

Суммарный ток между электродами составляет:

$$I_s = \frac{5\pi SH}{2L^2 \rho \ln \frac{L}{R}} U, \quad (2)$$

где H – глубина погружения электродов, м; R – радиус электродов, м; ρ – удельное сопротивление грунта, Ом; L – расстояние между электродами, м; S – площадь загрязненного участка, м²; U – напряжение, В.

Энергопотребление определяется как:

$$W_s = I_s U t, \quad (3)$$

где t – время обработки нефтезагрязненного участка, определяемое начальной концентрацией нефтепродуктов в почве, ч.

Количество «элементарных» электродных ячеек, требуемое для обработки площади S :

$$k = S/4L^2 \quad (4)$$

Количество анодов, необходимых для очистки:

$$Z_A = 5k = 5S/4L^2 \quad (5)$$

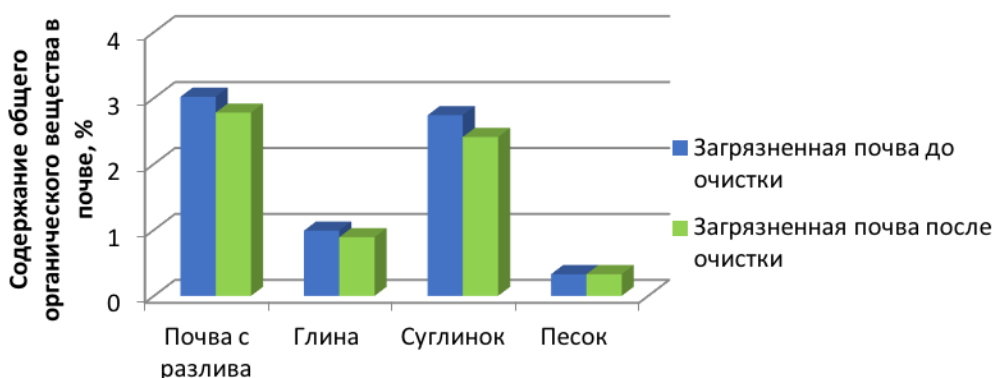
Проведены исследования влияния процесса электрохимической обработки на почвенные характеристики: содержание общего органического вещества в составе гумуса, хлорид-ионов, плотность и влажность, электрическую проводимость водной вытяжки.

В таблице 1 приведены данные об изменении электропроводности и влажности почвы в процессе электрохимической очистки. Существенное снижение электропроводности происходит из-за уменьшения концентрации положительных ионов металлов и отрицательных хлорид-ионов и снижения влажности в результате электрохимических процессов и испарения.

Таблица 1 – Электрическая проводимость и влажность почвы до и после обработки

| Параметр | Почва до очистки | | | Почва после очистки | | |
|------------------------------------|------------------|----------|-------|---------------------|----------|-------|
| | Глина | Суглинок | Песок | Глина | Суглинок | Песок |
| Электрическая проводимость, мСм/см | 91,2 | 91,2 | 93,3 | 14,6 | 14,9 | 14,5 |
| Влажность, % | 40,9 | 40,9 | 40,9 | 10,0 | 14,0 | 26,0 |

Происходит и некоторое снижение содержания гумусовых веществ, что отражено на рисунке 2.

**Рисунок 2 – Результаты анализа органического вещества почвы в составе гумуса**

Наблюдается значительное уменьшение содержания хлорид-ионов (примерно в 3 раза), что объясняется интенсивной диссоциацией хлоридов натрия, кальция и магния, содержащихся в пластовых водах, и переносом ионов к аноду.

Электрохимическая обработка при указанных условиях приводит к уплотнению грунта (в диапазоне от 1,258 до 1,723 г/см³ в зависимости от типа грунта).

Исследования показали, что проведение электрохимической очистки почвы, загрязненной нефтью и высокоминерализованными пластовыми водами, при использовании малых токов не влечет за собой критических изменений свойств почвы. Снижение содержания общего органического вещества почв незначительно, обработка электрическим током небольшой величины не приводит к ухудшению плодородия почвы.

Для обеспечения экологической безопасности и защиты атмосферы от возможных газообразных продуктов окисления нефтяных углеводородов целесообразно создание над очищаемой территорией полимерного экрана на каркасной основе, оснащенного устройством отвода и сбора газов для их последующего анализа и утилизации, либо оснащение электродных скважин крышками с трубой отвода газа.

Проведены анализы биотоксичности нефтезагрязненных почв до и после электрохимической обработки с использованием *Paramecium caudatum*, *Lepidium sativum*, *Avena sativa*, *Allium cepa*, которые свидетельствуют о снижении токсичности грунтов до малоопасного значения, отсутствии мутагенного эффекта и пригодности для последующей фиторемедиации.

Выводы

Проведенные исследования физико-химических параметров и токсичных свойств нефтезагрязненных грунтов, подвергшихся электрохимической очистке, свидетельствуют об отсутствии значительных негативных эффектов, а соответственно данный метод характеризуется экологической безопасностью и целесообразен для восстановления почвогрунтов и в последствии - экосистем.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-24041/18.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/.
2. Ferrarese E., Andreottola G. Application Of Electrochemical Techniques For The Remediation Of Soils Contaminated With Organic Pollutants // Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy. 2010. Vol. 13. P. 343-372.
3. Pryanichnikova V.V., Shulaev N.S., Bykovsky N.A., Kadyrov R.R. The Electrochemical Method of Oil-Contaminated Soil Remediation // Key Engineering Materials. - 2017. Vol. 743. P. 314-318.
4. Пряничникова В.В., Шулаев Н.С., Быковский Н.А., Кадыров Р.Р. Расчет электрических параметров при электрохимической очистке нефтезагрязненных грунтов // Фундаментальные исследования. 2018. № 12. С. 208-212.

УДК 537.924

ОБРАЗОВАНИЕ ГАЗОФАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СВЧ-РАЗРЯДА НА ЖИДКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ FORMATION OF GAS-PHASE PRODUCTS IN MICROWAVE DISCHARGE IN LIQUID HYDROCARBONS.

**Елена Сергеевна Бобкова, Александра Евгеньевна Пирцул,
Ирина Денисовна Самофалова
Elena S. Bobkova, Alexandra E. Pirtsul, Irina D. Samofalova**

*Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
Россия, Москва
National University of Oil and Gas «Gubkin University», Russia, Moscow
(e-mail: lenabobkova777@gmail.com, sandrapirtsul@mail.ru, irinasam2014@yandex.ru)*

Аннотация: Рассмотрен механизм деструкции н-гептана и бензола в результате воздействия СВЧ-разряда. Хроматографическим методом определен состав продуктов газовой фазы. Предложена кинетическая модель образования газообразных продуктов плазмохимического превращения. В работе представлены химические реакции с образованием реакционноспособных частиц – свободных радикалов, участвующих в данных процессах.

Abstract: The mechanism of destruction of n-heptane and benzene in microwave discharge is considered. The content of the gas phase products is determined by the chromatographic method. A kinetic model of the formation of gaseous products in the plasma chemical process is proposed. Chemical reactions with the formation of reactive free radicals involved in these processes are presented.

Ключевые слова: СВЧ-разряд, гептан, бензол, обработка жидких углеводородов, механизм образования продуктов в плазме.

Keywords: microwave discharge, heptane, benzene, processing of liquid hydrocarbons, the mechanism of formation of products in plasma.

На сегодняшний день нефтяная промышленность является одной из определяющих в жизни человека. При изучении процесса переработки углеводородов главной проблемой являются высокие энергетические затраты, и, как следствие, большие экономические потери. Таким образом, образуется целый комплекс проблем: энергетические затраты – экономические потери – вред экологии.

Применение разрядов для конверсии углеводородов рассматривается как альтернатива традиционным термokatалитическим способам. Эти методы отличаются возможностью искусственного создания и поддержания более высоких температур и давления при меньших

энергетических затратах. Использование разрядов различного типа позволяет проводить процессы деструкции углеводородов [1].

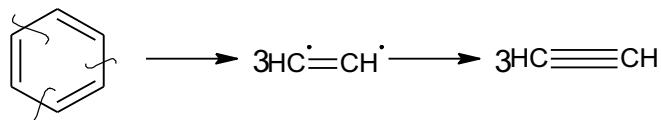
Разрядная деструкция углеводородов – это их расщепление, распад на части, а также дальнейшее взаимодействие образовавшихся химически активных частиц друг с другом и с нейтральными молекулами под воздействием электрического поля. Объектом исследования были два жидких углеводорода: один линейного строения (н-гептан) и один циклический (бензол). Процесс обработки углеводородов СВЧ-разрядом протекает в плазмохимической установке, конструкция которой описана в работах [2, 3]. В результате воздействия на исследуемые образцы происходит образование различных жидких, газообразных и твердых продуктов. Данная работа имеет целью описание возможных механизмов деструкции исследуемых образцов и образование газообразных продуктов. Состав газовой фазы определялся хроматографически. Продуктами обработки бензола являются водород (97,9%), ацетилен (2%), метан (0,2%); н-гептана - водород (93%), ацетилен (4%), метан (1,4%), этилен (1,1%).

В ходе данного воздействия на анализируемый образец происходит трансформация углеводородной цепи [4]. Приложение к газу разности потенциалов приводит к возникновению самостоятельной химически активной частицы, независимо от внешних источников ионизации. Следует отметить, что в ходе разрядной деструкции углеводородов протекают не только реакции распада веществ, но и процессы образования новых веществ.

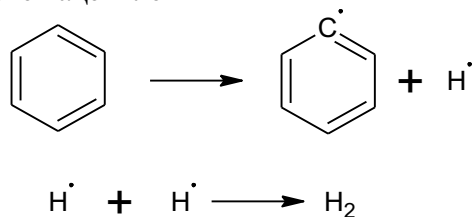
Химические реакции под действием разряда имеют сложный характер. Как правило они осуществляются в две стадии:

- 1) Первой стадией является образование химически активных частиц.
- 2) Вторая стадия может протекать в двух независимых направлениях, которые определяются видом разряда, действующим на исследуемый образец.
 - а) Последующая деструкция образованных химически активных частиц в процессе взаимодействия с разрядом;
 - б) Взаимодействие химически активных частиц между собой, а также с нейтральными молекулами.

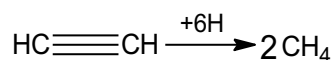
Процесс воздействия СВЧ-разряда на бензол может идти по следующему механизму:



В ходе данной реакции происходит разрушение бензольного кольца, в следствие которого сначала образуется радикал, состоящий из двух реакционноспособных углеводородов, а затем происходит стабилизация количества связей для углеродов, и образуется ацетилен.

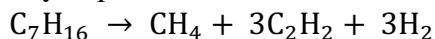


Следующая реакция идет с образованием водорода. Сперва происходит «отщепление» одного атома водорода от бензольного кольца; образуются два радикала. После этого полученные радикалы водорода соединяются в нейтральные молекулы.



Полученный в первой реакции ацетилен разрушается под действием разряда и взаимодействует с шестью радикалами водорода, образовавшимися в предыдущей реакции, в итоге имеются две молекулы метана.

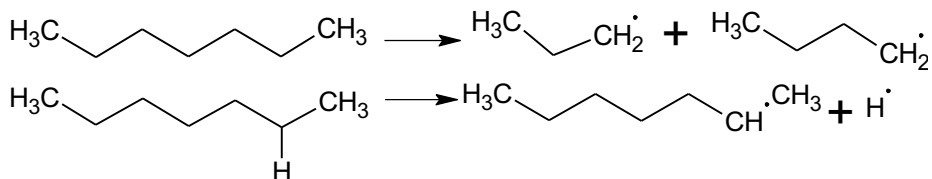
Взаимодействие н-гептана будет протекать по следующему механизму. На первом этапе могут протекать две независимые реакции:



Механизм протекания данных реакций:

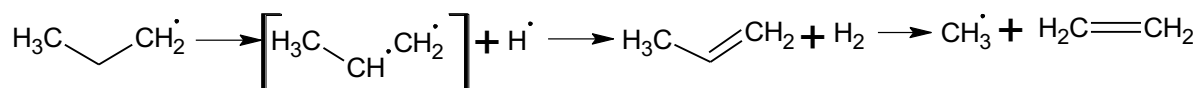
А. Зарождение цепи.

На этапе зарождения цепи в первой реакции происходит разрушение гептана на несколько молекул. Разрушение происходит ближе к середине цепи, так как там более слабые связи. Во второй реакции происходит отщепление ион водорода. В результате данных разрушений в обеих реакциях происходит образование радикалов, состоящий реакционноспособных углеводородов

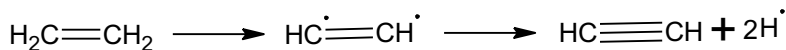
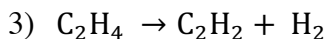
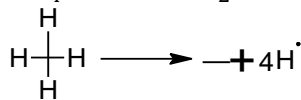
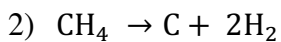
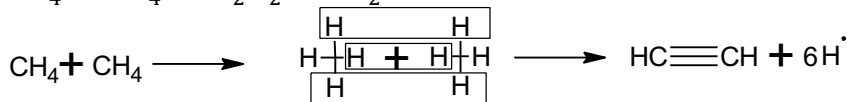
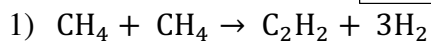
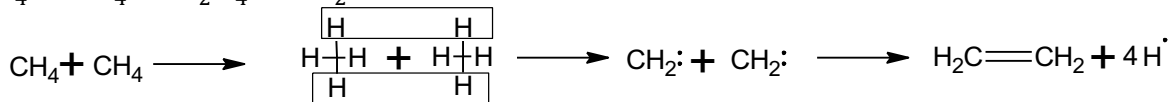
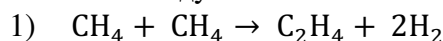


Б. Развитие цепи.

В последствии, образовавшиеся радикалы с числом атомов углеводорода три и более подвергаются дальнейшему разрушению. У образовавшегося на первой стадии пропила отщепляется ион водорода с дальнейшим образованием двойной связи и отщепление метильного радикала.



При взаимодействии метильного радикала с ион водородом образуется метан. А при пиролизе метана и при дегидрировании винильного радикала происходит образование ацетилена. На втором этапе возможно взаимодействие образовавшихся молекул метана и этилена между собой:



На втором этапе мы можем наблюдать не только реакции образования ацетилена и этилена, но также и реакцию полного разложения метана на углерод и водород (образование сажи).

Выводы

Таким образом, данная схема реакций наглядно отражает механизмы образования газофазных продуктов, обнаруженных в экспериментальных исследованиях при воздействии СВЧ-разряда на н-гептан и бензол.

Данный тип исследований является инновационным представлением альтернативных методов создания условий для переработки нефти и нефтепродуктов. В перспективе этот метод может увеличить селективность и выход целевых продуктов производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fridman A. Plasma Chemistry. New York.: Cambridge University Press, 2008. 1022 с.
2. Лебедев А.Ю., Аверин К.А., Борисов Р.С., Гарифуллин А.Р., Бобкова Е.С., Куркин Т.С. Микроволновый разряд в жидких углеводородах // Химия высоких энергий. 2018. Т. 52. № 5. С. 306.
3. Yu. A. Lebedev, A. V. Tatarinov, I. L. Epstein. 1D Modeling of the Microwave Discharge in Liquid n-Heptane including Production of Carbonaceous Particles // Plasma Chemistry and Plasma Processing. 2019. <https://doi.org/10.1007/s11090-019-09975-8>.
4. Рябов В.Д. Химия нефти и газа. М.: Инфра-М, Форум, 2017. 336 с.

УДК 547.814.1+677.016.4+677.016.8

БЕЗОПАСНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ КАФЕДРЫ «ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ» HUMAN SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION IN THE RESEARCH DEPARTMENT OF "ORGANIC CHEMISTRY»

Константин Иванович Кобраков*, **Дмитрий Николаевич Кузнецов***, **Анна Геннадьевна Ручкина***, **Ирина Николаевна Бычкова***, **Елена Борисовна Каравая***,
Владимир Ильич Родионов**
Konstantin I. Kobrakov*, **Dmitry N. Kuznetsov***, **Anna G. Ruchkina***, **Irina N. Bychkova***,
Elena B. Karavaeva*, **Vladimir I. Rodionov****

**Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: occd@mail.ru)*

*** ООО Эдельхаус, Россия, Москва
LLC Edelhaus, Russia, Moscow
(e-mail: vladimirir@yandex.ru)*

Аннотация: в работе кратко обобщены результаты исследований сотрудников кафедры органической химии, направленные на защиту окружающей среды, безопасности человека, и использование возобновляемых растительных ресурсов.

Abstract: the paper summarizes the results of research of employees of the department of organic chemistry, aimed at protecting the environment, human security, and the use of renewable plant resources.

Ключевые слова: экологическая безопасность, устойчивое развитие, биоцидные материалы и средства индивидуальной защиты, конверсия техногенных отходов, растительные экстракты, возобновляемые ресурсы.

Keywords: environmental safety, sustainable development, biocidal materials and personal protective equipment, conversion of man-made waste, plant extracts, renewable resources.

Защита человека от неблагоприятных внешних воздействий (болезнетворные микроорганизмы, ядовитые техногенные отходы различных отраслей промышленности, угрозы бактериологической атаки и т.п.) по мере развития технологий и производств, возрастания резистентности микроорганизмов к действию применяющихся химио-фармацевтических препаратов приобретает всё более возрастающее значение при реализации парадигмы устойчивого развития общества (УР), концепции принятой на конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) [1].

Не менее важной является и задача сохранения окружающей человека природной среды.

Поскольку под термином «устойчивое развитие» (sustainable development) понимается модель движения вперед, при которой достигается удовлетворение жизненных потребностей нынешних поколений людей без лишения такой возможности будущих поколений [2]. Формулировка близка к определению, данному Всемирной комиссией ООН по окружающей среде и развитию [3]. Роль науки для УР рассматривается как основополагающая, так, по утверждению У.Д. Рукельсхауза [4] устойчивое развитие должно быть «полностью управляемым процессом, осуществляемым с той степенью предусмотрительности, которую может обеспечить лишь наука».

В последние годы на кафедре «Органическая химия» реализуется несколько направлений научных исследований направленных на решение вышеуказанных задач.

1. Разработка теоретических основ и промышленной технологии, наномодифицирования с использованием коллоидного раствора наноразмерных частиц серебра текстильных и нетканых материалов и изделий из них, обеспечивающих эффективную защиту человека от воздействия болезнетворных микроорганизмов.

Применение чулочно-носочных изделий, нижнего и верхнего трикотажа, спортивной одежды, обмундирования для подразделений вооруженных сил РФ и личного состава МЧС, постельного белья и т.д. и т.п., прошедших биоцидную отделку, позволяет повысить степень защиты (безопасность) и тем самым работоспособности и здоровья населения и боеспособности личного состава.

Преимущества биоцидной отделки с использованием наноразмерных частиц серебра по сравнению с имеющимися аналогами заключается прежде всего в том, что серебро подавляет развитие более 600 видов болезнетворных микроорганизмов, что в десятки раз превышает эффективности используемых в настоящее время препаратов, чрезвычайно низкая концентрация нанесенного на материал наноразмерного серебра составляющая 5-10 ppm., отсутствие эффекта привыкания микроорганизмов к действию серебра.

Известно, что наиболее важной задачей в технологии создания бактерицидных материалов является обеспечение устойчивости биоцидного эффекта к действию различных физико-химических факторов при длительном хранении и эксплуатации изделий.

В работах, выполненных сотрудниками кафедры решены теоретические, фундаментальные вопросы взаимодействия ионов и наночастиц серебра с функциональными группами красителей, используемых в процессе колорирования текстильных материалов [5,6]. Полученные результаты позволили перейти к разработке технологии обработки материалов коллоидным раствором наночастиц серебра, которая в свою очередь обеспечивает заданное количество наносеребра на материале в пределах от 3 до 50 ppm, при это количество серебра в сточных водах производства в разы ниже ПДК.

Разработанная технология обеспечивает высокую устойчивость биоцидного эффекта, который сохраняется после 30 циклов стирки, испытаний на сухое и мокрое трение и т.д. [7].

Разработанная технология прошла опытно-промышленную проверку и реализована на ряде предприятий, выпускающих продукцию указанного ассортимента: ООО «САНОВА», трикотажная фабрика «Заречье-сервис» (г. Кинешма), ООО «8 Марта» (г. Гомель), Брянский камвольный комбинат, Павлово-Посадкий камвольный комбинат, ООО «Нико-Текстиль», ООО «Гамма» (г. Орел), ООО «Тотал» (г. Серпухов) и другие.

2. Разработка методов химической трансформации 2,4,6-тринитротолуола (ТОЛ, ТНТ, тротил) в продукцию мирного назначения, имеющую коммерческие перспективы.

Эта работа с одной стороны направлена на экономически и экологически целесообразную утилизацию техногенных отходов ВПК – взрывчатых веществ, извлекаемых

из снятых с вооружения по разным причинам боеприпасов, а с другой стороны направлена на превращение тротила в сырьё двойного назначения.

В период с 2004-2019 г.г. разработаны методы получения на основе продуктов химической трансформации ТНТ широкой гаммы красителей и пигментов, индикаторов цвета, соединений с хелатирующими свойствами, способных связывать ионы тяжелых металлов, соединений, обладающих флуоресцентными свойствами [8,9,10,11].

Разрабатывается чрезвычайно интересное и перспективное направление – синтез на основе 2,4,6-тригидрокситолуола (одного из продуктов, получаемых из ТНТ) синтетических аналогов природных соединений, например, флавоноидов, кумаринов, аурионов и др., проявляющих высокую и, зачастую, специфическую биологическую активность, которые могут быть использованы в получении химико-фармацевтических препаратов широкого спектра действия [12-14].

3. Изучение возможностей использования для ряда отраслей промышленности (пищевая, фармацевтическая, парфюмерно-косметическая, производство красителей и др.) комплекса органических соединений, выделяемых из растительного сырья.

Это направление работы признано на уровне руководства страны одним из наиболее значимых с точки зрения научно-технического развития РФ [15].

В настоящем указе подчеркивается, что необходимо разработать эффективные производственные технологии, ориентированные на использование возобновляемых ресурсов, взамен такого сырья как нефть и газ.

В указанном направлении на кафедре проводится комплекс исследований, направленных на использование растительных экстрактов в качестве сырья для получения эффективных красителей, антиоксидантов, средств защиты растений, БАД и т.п.

В частности выполнен цикл исследований по синтезу неописанных ранее, эффективных азокрасителей на основе полифенолов, входящих в состав растительных экстрактов для колорирования ткани из синтетических и натуральных волокон [16], разработана методика количественного определения суммы флавоноидов в растительном сырье [17]. Особый интерес представляют полученные в последнее время результаты изучения возможностей и перспектив использования сырьевых источников, которые ранее для решения вышеуказанных задач не использовались [18,19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандрес Й. За пределами роста. Москва. Прогресс, 1994. 304 с.
2. Коптюг В.А., Матросов В.М., Левашов В.К., Деменко Ю.Г. Устойчивое развитие цивилизации и место в ней России. Проблема формирования национальной стратегии. Владивосток. Дальнаука, 1997. 83 с.
3. World Commission on Environment and Development (WCE 0). Our Common Future. Oxford: Oxford University Press. 1987. 8p.
4. Рукельсхауз У.Д. Сбалансированность как глобальная стратегия // В мире науки. 1989. №11. С.110-118.
5. Кобраков К.И., Родионов В.И., Ручкина А.Г., Кузнецов Д.Н. Синтез гетарилсодержащих бисазокрасителей и исследование их взаимодействия с ионами и наноразмерными частицами металлов // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2013, Т.56 (4), С.33-37.
6. Кобраков К.И., Ковальчуков О.В., Кузнецов Д.Н., Родионов В.И., Станкевич Г.С. Спектрофотометрическое изучение взаимодействия некоторых азокрасителей, содержащих хелатирующие группы с ионами и наноразмерными частицами металлов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2015, №3, С.82-87.
7. Кобраков К.И., Дмитриева М.Б., Золина Л.И. Получение наномодифицированных биоцидных шерстяных материалов и исследование устойчивости их фунгицидных свойств к мокрым обработкам // Бутлеровские сообщения, 2014, Т.37(2), С.53-59.

8. Грукова О.П., Кобраков К.И., Станкевич Г.С., Шахнес А.Х., Шевелёв А.С. Синтез азокрасителей на основе 2,4,6-тригидрокситолуола и 1,3,5-тринитробензола // Химическая технология. 2003. №7. С.12-13.
9. Ушкаров В.И., Кобраков К.И., Алафинов А.И., Шевелев С.А., Шахнес А.Х. Метифлороглуцин – доступный полупродукт для синтеза азокрасителей // Химическая технология. 2006, №8. С.5-8.
10. Алафинов А.И., Кобраков К.И., Кузнецов Д.Н., Дмитриева М.Б. Синтез новых азопроизводных метилфлороглуцина – потенциальных красителей и пигментов для текстильных материалов // Бутлеровские сообщения. 2013. Т.33 (3). С.93-99.
11. Amangdam A.T., Kovalchukova O.V., Strashnova S.B., Strashnov P.V., Romashkina E.P., Volyansky O.V. Experimental and theoretical investigations of complex formation of substituted phenylazo-derivatives of methylphloroglucinol // Journal of Advances in Chemistry. 2013. Vol. 4, No. 1. pp. 295-300.
12. Бобылев С.С., Кобраков К.И., Кузнецов Д.Н., Ручкина А.Г. Синтез 5,7-дигидрокси-4,8-диметилхромен-2-она и его азопроизводных // Известия Академии наук. Серия Химическая. 2015, №1, С.154-158.
13. Бобылев С.С., Кобраков К.И., Кузнецов Д.Н., Ручкина А.Г., Фахрутдинов А.И. Синтез и превращения дигидрокси-2Н-1-бензопиран-2-онов // Журнал органической химии. 2015. Т.51. С.1-3.
14. Мелешенкова В.В., Кузнецов Д.Н., Ручкина А.Г., Кобраков К.И. Синтез новых производных акридин-9-карбоновой кислоты // Известия Академии наук. Серия Химическая. 2018, №5, С.878-883.
15. Указ президента Российской Федерации. О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. 01 декабря 2016 г., № 642.
16. Кобраков К.И., Станкевич Г.С., Грукова О.П., Неборако О.Ю., Ушкаров В.И. Красители из нетрадиционного сырья: получение, свойства, перспективы // Текстильная промышленность. 2004, №10. С.22-27.
17. Кобраков К.И., Целикова Г.А., Маланкина Е.Л., Кузнецова Л.В. Разработка методики количественного определения флавоноидов в цветах календулы лекарственной различных сортов // Бутлеровские сообщения. 2011. Т.28(19). С.16-20.
18. Лазарев А.С., Кляузова А.В., Ручкина А.Г., Кобраков К.И., Андрюхина Е.Ю., Шингун Л.К.. Антиоксидантная активность экстрактов листьев садовой голубики // Химия и химическая технология переработки растительного сырья. Межд. научно-техн. конференция, посвященная 100-летию со Дня рождения проф. В.М. Резникова, Материалы конференции, Минск, 2018, с.225-229.
19. Klyauzova A.V., Kobrakov K., Ruchkina A.G. Chemical modification and antioxidant activity of Highbush Blueberries leaf extracts // International Conference «Renewable plant resources: chemistry, technology, medicine» (RR 2017), Saint-Petersburg, 2017, p.123-124

УДК 665.662.9:621.70.226

**МОБИЛЬНЫЙ СОНОХИМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПЕРЕРАБОТКИ
НЕФТЕШЛАМОВ
MOBILE SONOCHEMICAL COMPLEX OF OIL SLUDGE PROCESSING**

Марат Салаватович Муллакаев*, Георгий Борисович Векслер,
Роберт Маратович Муллакаев***
Marat S. Mullakaev*, George B. Wexler**, Robert M. Mullakaev*****

**Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН, Россия, Москва*

**Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry, RAS, Russia, Moscow
(e-mail: mullakaev@mail.ru)*

***Научно-исследовательский истории, экономики и права, Россия, Москва*

***ANO Research Institute "History, Economics and Law Research Institute" Russia, Moscow*

****РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, Россия, Москва*

****Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Russia, Moscow*

Аннотация. Разработан мобильный сонохимический комплекс на основе малогабаритного оборудования и высокоэффективных технологий для очистки нефтяных шламов. В основе аппаратно-технологической схемы разработанного комплекса лежит подход, основанный на использовании комбинированных физико-химических методов. Внедрение комплекса позволит значительно сократить капитальные и эксплуатационные затраты при очистке нефтяных шламов.

Ключевые слова: Мобильный сонохимический комплекс, ультразвук, химические реагенты, флотационная очистка, гальванокоагуляционная очистка, ультрафиолетовая стерилизация, комплексная технология,

Abstract: A mobile sonochemical complex based on small-sized equipment and highly effective technologies for cleaning oil sludges has been developed. At the heart of the hardware-technological scheme of the developed complex is the approach based on the use of combined physico-chemical methods. The introduction of the complex will significantly reduce the capital and operating costs when cleaning oil sludge.

Keywords: Mobile sonochemical complex, ultrasound, chemical reagents, flotation treatment, galvanocoagulation cleaning, ultraviolet sterilization, complex technology.

Переработка нефтяных шламов является одной из наиболее важных экологических проблем современности. Предприятия нефтегазового комплекса являются стратегической отраслью экономики РФ, и как следствие эти предприятия вносят значительный вклад в загрязнение окружающей среды.

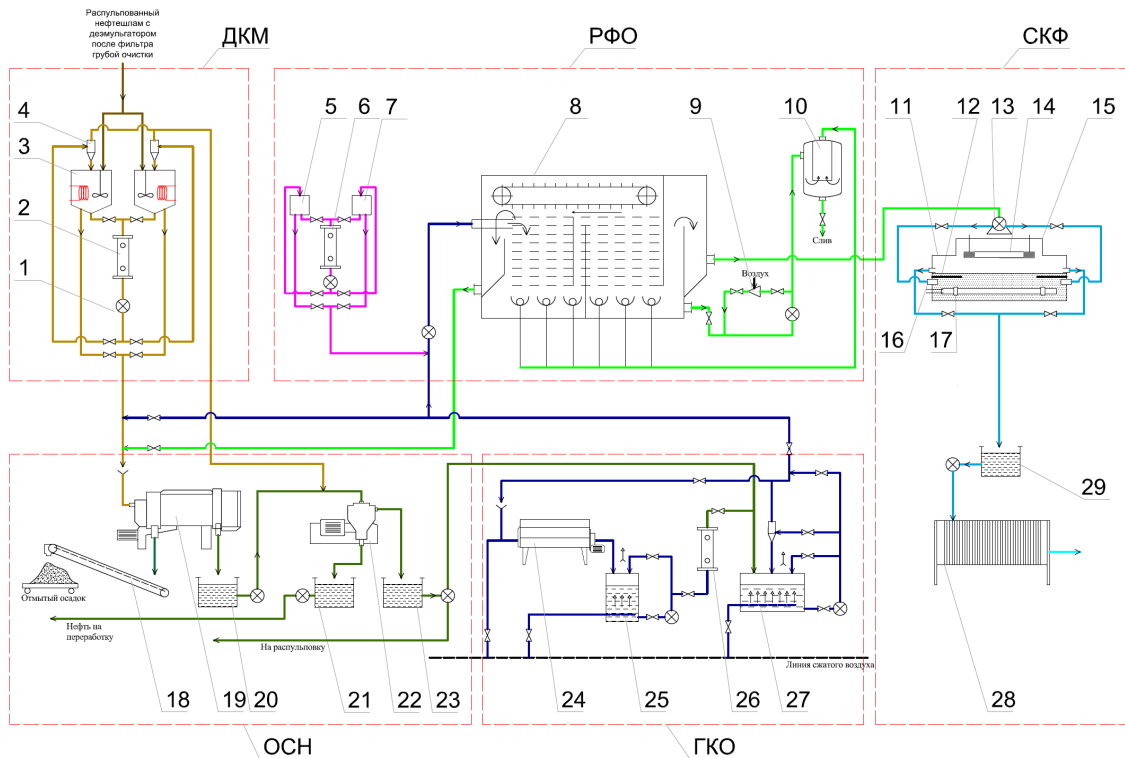
В работах [1-6] описана сонохимическая технология эффективного разделения и обезвоживания нефтяного шлама и загрязнённой нефтью почвы с использованием ультразвука (УЗ) и различных химических реагентов.

Целью данной работы заключалась в разработке мобильного сонохимического комплекса (МСКПН) в контейнерном исполнении на основе сонохимической технологии.

В состав комплекса МСКПН входят следующие автономные блоки, смонтированные в отдельных контейнерах:

- диспергирования и концентрирования механических примесей (ДКМ) [4-6];
- обезвоживания осадка и нефтепродуктов (ОСН) [4-6];
- гальванокоагуляционного обезвоживания воды (ГКО) [7-9];
- реагентно-флотационной очистки воды (РФО);
- ультрафиолетовой стерилизации и контрольной фильтрации воды (СКФ) [10].

Принципиальная аппаратно-технологическая схема комплекса представлена на рисунке 1.



1 - насос, 2 - блок УЗ распульковки нефтешлама, 3 - обогреваемая ёмкость, 4 – гидроциклонные модули, 5, 7 - емкости реагента, 6 - блок УЗ активации флотационного реагента, 8 - флотационная камера, 9-эжектор, 10 - абсорбер, 11 - кожух, 12 - лоток, 13 - насос высокого давления, 14 - УФ лампа, 15 - пенал, 16 - ГД излучатель, 17 - УЗ излучатель типа Пуш-Пул, 18 - транспортер, 19 -центрифуга, 20,29 - промежуточная емкость, 21 - сборник нефтепродуктов, 22 - сепаратор, 23- ёмкость осветлённой воды, 24 - гальванокоагулятор, 25 - скрапоуловитель, 26 - блок УЗ активации гальванокоагулянта, 27 - реакционная камера, 28 – фильтр-пресс.

Рисунок 1 – Мобильный универсальный сонохимический комплекс переработки нефтешламов

Разделение нефтешламов и очистки нефтезагрязненных вод в процессе работы комплекса реализуется следующим образом:

1. Распульгованный и предварительно отфильтрованный в обустроенной зоне забора нефтешлам, подаётся в блок ДКМ, попеременно в две обогреваемые ёмкости (до 60-70 °С) с перемешивающими устройствами 3. Наряду с гидроциклонными модулями 4 они входят в состав циклично функционирующих совмещённых циркуляционных контуров с общим насосным блоком 1 и ультразвуковым реактором 2. Переключение циркуляционного потока происходит автоматически в результате срабатывания запорно-регулирующей арматуры в соответствии с ПЛК- управляемым режимом переработки нефтяного шлама.

2. Циркуляционные контуры, главным образом за счёт УЗ воздействия, обеспечивают разрушение в нем физических связей и образование видоизменённой трёхкомпонентной жидкой неоднородной системы с пониженной вязкостью и диспергированными механическими примесями. Наиболее крупные из них концентрируются в ёмкостях 3. Концентрат из этих ёмкостей поступает в блок с ОСН на осадительную шнековую центрифугу 19. Водонефтяной поток с мало концентрированными тонкодисперсными включениями после гидроциклонирования во избежание интенсивного эмульгирования выводится из циркуляционного контура параллельно и подаётся в тот же блок, минуя шнековую центрифугу, на саморазгружающийся тарельчатый сепаратор 22. Для аномальных случаев перед поступлением в блок ОСН предусмотрена возможность объединения потоков и

как показано на рисунке 2 пунктиром, их поступление на центрифугу 3. При центрифугировании в непрерывном режиме осадок транспортёром 18 выгружается из блока, а фугат из промежуточной ёмкости 20 подаётся на тарельчатый сепаратор 22, в котором осуществляется разделение водонефтяной эмульсии и выделение тонкодисперсных механических примесей. Обезвоженные нефтепродукты, из сборника 21 откачиваются на переработку, нефтезагрязнённый осадок (ёмкость сбора на схеме не показана) выводится на биологическую очистку. Осветлённая вода из ёмкости 23 откачивается в зону забора нефтешлама на его распульговку и на первую ступень очистки в реакционную камеру 26 блока ГКО.

4. Одновременно с осветлённой в блоке ОСН водой в реакционную камеру блока ГКО поступает суспензия магнетита, наработанная гальванокоагулятором 24 и активированная в ультразвуковом реакторе, в который она поступает из скрапоуловителя 25. Циркуляционный контур с входящим в его состав гидроциклонным модулем, системой регулировочных клапанов и насосным блоком, а также барботаж сжатым воздухом способствует интенсивному контакту магнетита с водой, обеспечивая ее эффективное обезвреживание.

5. Обезвреженная вода после гидроциклонирования частично направляется в гальванокоагулятор 24 для наработки магнетита и на центрифугу 19 в блоке ОСН для интенсификации отмывки осадка. Предусмотрена так же линия разгрузки реакционной камеры 26, по которой, минуя гидроциклон, водная суспензия магнетита подаётся на разделение в блок ОСН.

6. Основной поток обезвреженной воды в блоке ГКО воды поступает на вторую ступень очистки в блок РФО. В качестве химического реагента в этом блоке применяется алюмокремниевый коагулянт-флокулянт (АКФК). После предварительной активации в попеременно функционирующих циркуляционных контурах, в состав которых входят ёмкости 5 и 7, ультразвуковой реактор 6 и насосный блок, он подается на всас насоса, перекачивающего обезвреженную в блоке ГКО воду во флотационную камеру 8.

Применение АКФК обеспечивает формирование скоагулированных агрегатов частиц загрязнений, образующих устойчивые флотационные комплексы в контакте с пузырьками воздуха. Пузырьки воздуха выделяются во флотационной камере вследствие возврата ~ 25% очищенной воды, насыщенной им под давлением с помощью эжектора 9 абсорбера 10.

7. Пенный продукт поступает в блок ОСН на центрифугирование, а основной поток – в блок СКФ на стерилизацию ультрафиолетовым (УФ) излучением с воздействием ультразвуковых колебаний, обеспечивающих ее синонимическую стимуляцию. Подача очищенной воды на гидродинамические излучатели (ГДИ) 16, обеспечивающие режим кавитации, осуществляется насосом 13 при давлении 6-7 атм. Источником ультразвуковых колебаний является расположенный в кожухе 11 волновод 17, на торцах которого закреплены два магнитостриктора. Лампа ультрафиолетового излучения 14 в пенале 15, расположенная над поверхностью воды уничтожает микроорганизмы вблизи поверхности. Одновременные воздействия ультрафиолетового и ультразвукового излучения существенно повышают эффективность стерилизации. Стерилизованная вода накапливается в ёмкости 28 и при необходимости перед сбросом или использованием на хозяйственные нужды может подвергаться контрольной фильтрации на фильтропрессе 27.

В рамках работы отработаны технологические режимы эксплуатации, как технологических блоков, так и сонохимического комплекса в целом, а также разработан комплект технической документации эксплуатации комплекса.

Производительность комплекса составляет: по нефтешламу (распульпованный) - 40 м³/час, донным осадкам – 10 м³/час. Очищенный грунт с содержанием нефтепродукта (соответствует ПДК) используется как строительный материал. Расход реагента составляет до 6 % масс распульпованного нефтешлама. С целью улучшения экономических показателей отработанный раствор реагента после отделения нефтепродуктов используется повторно.

На площадке предприятия «Эмульсионные технологии» (г. Самара) были проведены опытно-промышленные испытания комплекса КМСХ на нефтезагрязненном песчаном грунте

промышленной площадки Самарского комплекса Приволжского филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Уралнефтепродукт», характеристики и компонентный состав которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технологические показатели очистки нефтезагрязненного грунта

| УЗ | Масса компонентов, кг | | | | | |
|----|---------------------------|---------------|-------|-------------------|---------------|--------|
| | <i>После гидроциклона</i> | | | | | |
| | Концентрат | | | Осветленный поток | | |
| | Твердые вещества | Нефтепродукты | Вода | Твердые вещества | Нефтепродукты | Вода |
| - | 100,0 | 6,8 | 184,5 | 1,18 | 20,4 | 554,6 |
| + | 92,5 | 6,5 | 185,3 | 3,8 | 25,7 | 553,7 |
| | <i>После центрифуги</i> | | | | | |
| | Осадок | | | Фугат | | |
| | Твердые вещества | Нефтепродукты | Вода | Твердые вещества | Нефтепродукты | Вода |
| - | 86,0 | 13,3 | 25,7 | 5,6 | 2,1 | 490,1 |
| + | 83,7 | 8,9 | 25,1 | 5,3 | 1,2 | 491,0 |
| | <i>После сепаратора</i> | | | | | |
| | Осадок | | | Фугат | | |
| | Твердые вещества | Нефтепродукты | Вода | Твердые вещества | Нефтепродукты | Вода |
| - | 6,8 | 2,4 | 2,7 | - | 20,4 | 1042,0 |
| + | 9,2 | 2,7 | 3,0 | - | 24,2 | 1041,7 |

Выводы

Разработанный комплекс и сонохимическая технология обладают следующими эксплуатационными преимуществами:

1. *Универсальность*: модули комплекса легко вписываются в существующие технологические цепочки и не требуют существенных доработок;

2. *Комплексность*: возможность эффективной переработки нефтяных шламов и очистки нефтезагрязненных вод при значительных колебаниях концентрации вредных примесей и значений водородного показателя без предварительной коррекции;

3. *Ресурсосбережение*:

- сонохимическая технология позволяет в 1.5 – 2 раза уменьшить расход химических реагентов при разделении;
- нефтешламы после переработки применяются в качестве смазочной добавки к буровым растворам, заменяя сырую нефть;
- нефтешламы после переработки используют в качестве буферной жидкости для разделения бурового раствора на углеводородной основе и тампонажного раствора на водной основе.
- использование очищенной воды на технологические и хозяйственные нужды;
- использование очищенной воды на технологические и хозяйственные нужды;

4. *Энергосбережение*: эксплуатационные затраты значительно снижены за счёт автоматизации процессов управления;

5. *Автономность* реализации сонохимической технологии обеспечивается тем, что не нуждается в совмещении с дополнительной техникой. В частности, энергоснабжение оборудования осуществляется генератором, работающем на прямогонном дизельном топливе или бензине что особенно актуально в условиях Западной Сибири и Крайнего Севера;

6. *Мобильность*: компактность аппаратного оформления позволяет устанавливать контейнеры с технологическими модулями на шасси грузовых автомобилей или простейшем фундаменте в местах переработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муллакаев М.С. Ультразвуковая интенсификация технологических процессов добычи и переработки нефти, очистки нефтезагрязненных вод и грунтов. Дис. докт. техн. наук. М.: Московский государственный университет инженерной экологии, 2011. 391 с.
2. Муллакаев М.С. Ультразвуковая интенсификация добычи и переработки нефти. М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2014. 168 с.
3. Mullakaev M.S. Ultrasonic intensification of the processes of enhanced oil recovery, processing of crude oil and oil sludge, purification of oil-contaminated water. M.: HELRI, 2018. 376 p.
4. Abramov O.V., Abramov V.O., Myasnikov S.K., Mullakaev M.S. Ultrasonic technologies for extracting oil products from oil-bearing sands and contaminated soils // Theoretical foundations of chemical engineering. 2009. V. 43. P. 504–510.
5. Abramov O.V., Abramov V.O., Myasnikov S.K., Mullakaev M.S. Extraction of bitumen, crude oil and its products from tar sand and contaminated sandy soil under effect of ultrasound // Ultrasonics Sonochemistry. 2009. V. 16. P. 408–416.
6. Mullakaev M.S., Vexler G.B., Mullakaev R.M. Sonochemical technology for separating oil sludge and oil-contaminated soil // Petroleum Science and Technology. 2018. V. 36. P. 604–608.
7. Кереметин П.П., Кошелева М.К., Муллакаев М.С. Исследование и расчёт процесса очистки сточных вод методом гальванокоагуляции с применением ультразвука // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2010. № 2. С. 99–102.
8. Кошелева М.К., Булеков А.П., Кереметин П.П., Чабаяева Ю.А., Муллакаев М.С., Векслер Г.Б. Оценка эффективности ультразвуковой обработки реагента при очистке сточных вод от органических загрязнений // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2011. № 5. С. 125–129.
9. Муллакаев М.С., Векслер Г.Б., Гальванохимическая очистка хромсодержащих сточных вод // Экология и промышленность России. 2018. № 8. С. 14–19.
10. Муллакаев М.С., Абрамов В.О., Векслер Г.Б., Вахитов А.Р. Ультразвук в процессах очистки кислых рудничных вод // Экология и промышленность России. 2015. № 12. С. 4–10.

УДК [677.494.674;677.017.632]+546.763+546.814

**СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА ГИБРИДНЫХ ПОЛИАНИЛИН-ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК
НА ВОЛОКНИСТЫХ НОСИТЕЛЯХ
TOUCH PROPERTIES OF HYBRID POLYANILIN-OXIDE FILMS ON FIBER**

**Вячеслав Михайлович Баранцев, Николай Владимирович Богданов,
Татьяна Евгеньевна Платова, Сергей Константинович Кузин
Vyacheslav M. Barantsev, Nikolai V. Bogdanov, Tatiana E. Platova, Sergei K. Kuzin**

*Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: vmb53@mail.ru)*

Аннотация: Рассмотрено влияние сорбции сероводорода на проводимость волокон с полианилин-оксидным покрытием, показана возможность использования модифицированных волокон в качестве газочувствительных элементов датчиков адсорбционно-резистивного типа.

Abstract: The effect of hydrogen sulfide sorption on the conductivity of fibers with a polyaniline-oxide coating is considered, the possibility of using modified fibers as gas-sensitive elements of an adsorption-resistive-type sensor is shown.

Ключевые слова: волокна, полианилин, сероводород, сенсоры.

Keywords: fibers, polyaniline, hydrogen sulfide, sensors.

Композитные материалы на основе полисопряженных полимеров и оксидов металлов в форме ультрадисперсных частиц и наноструктурированных пленок обладают уникальными электрофизическими свойствами и широко используются для получения современных полифункциональных материалов с заданными свойствами [1-3]. Синтез подобных структур на подложках различной природы позволяет использовать их в качестве катализаторов реакции разложения поллютантов в водной и воздушной средах, а также для разработки газочувствительных элементов датчиков контроля состояния окружающей среды.

Задача получения и исследования свойств волокнистых материалов с электроактивной поверхностью, способной генерировать свободные носители зарядов, проводить электрический ток и изменять свои электро-физические свойства в результате сорбции газов различной природы, решалась путем разработки технологии иммобилизации ультрадисперсной фазы сложных полупроводниковых оксидов в поверхностном слое волокон и синтеза на оксидированной поверхности тонкой пленки полианилина [4].

Синтез гибридных органо-неорганических структур на волокнистой подложке позволяет сочетать уникальные свойства полупроводниковых оксидов, полисопряженных и волокнообразующих полимеров. Суммарная сорбционная поверхность сотен модифицированных синтетических волокон в составе текстильной нити позволяет значительно усилить эффект контакта их электроактивной поверхности с газами определенной природы. Из известных проводящих полимеров нами выбран полианилин [ПАНИ], который обладает широким спектром свойств, отличается дешевизной и доступностью мономера, простотой и разнообразием методов синтеза. Интерес представляет изучение свойств как самого ПАНИ, так и его композиций с полупроводниковыми оксидами. Роль второго компонента выполняет оксид олова, широко используемый в качестве активного элемента в сенсорных устройствах адсорбционно-резистивного типа. Исследования проводились на термостойких арамидных волокнах, устойчивость которых к воздействию высоких температур является одним из показателей, определяющих возможность их использования в экстремальных условиях эксплуатации и способности сохранять основные физико-механические характеристики при циклических температурных нагрузках.

«In-situ полимеризация» включает в себя два взаимосвязанных процесса: химический – это рост макромолекул ПАНИ и физический – самосборку растущих цепей в сложные надмолекулярные структуры. В результате на носителе формируется определенным образом упорядоченный слой электропроводящего полимера прочно сорбированный на поверхность.

Присутствие газообразного аммиака в воздухе вызывает депротонирование полианилина в результате донорно-акцепторного взаимодействия свободной пары электронов в аммиаке с незанятой орбиталью протона, допирующего полисопряженный полимер, и резкое снижение электропроводности. Переход между различными формами ПАНИ является обратимым, что позволяет использовать эффект протонирования при переводе эмеральдинового основания в соль эмеральдина в кислой среде.

В работе исследовалось изменение электропроводности модифицированного волокнистого материала, обработанного раствором соли хлорида меди, в процессе сорбции паров сероводорода. Выделение хлороводорода по реакции (1) сопровождается резким снижением сопротивления электроактивной поверхности волокон при контакте с сильным протонирующим агентом.



Сопоставление результатов сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии с показателями изменения электрофизических свойств синтезированных образцов подтверждает определяющую роль состояния поверхности сложной гетерогенной системы при взаимодействии с газовой фазой. Использование ПАНИ в качестве детектирующего элемента сенсора требует создания рыхлых и хорошо проницаемых для аналита слоев с высокой удельной площадью поверхности. Развитая поверхность пленки оксида олова дает возможность повысить чувствительность устройства, а небольшая толщина и высокая

проницаемость слоя ПАНИ обеспечивает быстрое установление равновесия и высокую скорость измерений.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) поверхности гибридных слоев, демонстрирует систему регулярных примыкающих вплотную друг к другу иглообразных образований (рисунок 1). Очевидно, что при такой конфигурации значительно увеличивается площадь адсорбирующей поверхности и, следовательно, должна возрасти чувствительность и избирательность при контакте с адсорбентом путем изменения ее электрофизических свойств. Анализ полученных методом атомно-силовой микроскопии микропрофилей поверхности волокон позволил определить стандартный параметр поверхности – среднюю величину шероховатости $R_a=130,45$ нм. Таким образом, наблюдается взаимосвязь условий проведения синтеза с формированием рельефа поверхности оксидного слоя. Сочетание развитой поверхности полупроводникового слоя с проводимостью полисопряженного полимера на волокнистом носителе открывают перспективы применения композитного волокна в качестве активного элемента сенсорных устройств.

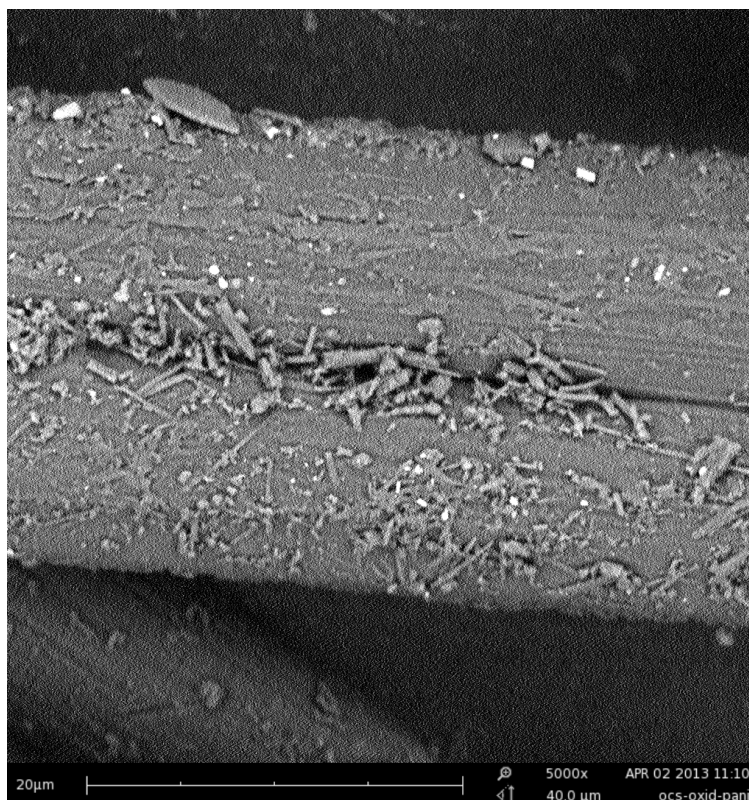


Рисунок 1– Сканирующая электронная микроскопия поверхности модифицированного волокна.

Многообразие вариантов качественного и количественного сочетаний компонентов композитных волокон позволяет решить проблему селективности при анализе газов различной природы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Janaky, C.; Visy, C. Conducting polymer-based hybrid assemblies for electrochemical sensing: A materials science perspective. // *Anal. Bioanal. Chem.* 2013, 405, 3489–3511.
2. Hangarter, C.M.; Chartuprayoon, N.; Hernandez, S.C.; Choa, Y.; Myung, N.V. Hybridized conducting polymer chemiresistive nano-sensors. // *Nano Today.* 2013, 8, 39–55.
3. Liu, Z.; Zhang, L.; Poyraz, S.; Zhang, X.Y. Conducting polymer-metal nanocomposites synthesis and their sensory applications. // *Curr. Org. Chem.* 2013, 17, 2256–2267
4. Photocatalytic properties of fibrous materials with a hybrid oxide-polyaniline coating: Mustafin, R. N.; Novikov, A. V.; Barantsev, V. M. // *FIBRE CHEMISTRY T.49. №2* С. 113-117

УДК 543.97

**НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ ЗАГРЯЗНЁННЫХ
НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ**
**NEW METHOD FOR DETERMINING THE TOXICITY OF SOILS POLLUTED BY OIL
AND PETROLEUM PRODUCTS**

Инна Вячеславовна Овсянникова*, Рамиль Магзинурович Хайруллин**
Inna V. Ovsyannikova*, Ramil M. Khairullin**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Филиал, Россия, Стерлитамак*

**Ufa State Petroleum Technological University, Branch, Russia, Sterlitamak
(e-mail: inna.ovsyannikova.80@mail.ru)*

***Институт биохимии и генетики Уфимского федерального исследовательского центра
РАН, Россия, Уфа*

***Institute of Biochemistry and Genetics of Ufa Federal Research Center of RAS, Russia, Ufa*

Аннотация: С использованием методики (ФР.1.39.2016.24117) определена токсичность почвы загрязнённой нефтью по всхожести семян, измерению средней длины и среднего сухого веса проростка кресс-салата (*Lepidium sativum*) в лабораторных условиях. Приведены экспериментальные данные анализируемых параметров. Показано, что данный метод можно использовать для оценки эффективности мероприятий по ремедиации почв на загрязнённых территориях.

Abstract: The toxicity of soil contaminated with oil was determined by authors method of *Lepidium sativum* seed germination (FR.1.39.2016.24117) and by measurement of average length and average dry weight of seedlings in laboratory conditions. It is shown that this method can be used to assess the effectiveness of soil remediation measures in contaminated areas.

Ключевые слова: кресс-салат; нефть; токсичность; почва, фитотестирование

Keywords: garden cress *Lepidium sativum*; oil; toxicity; phytotesting.

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами при добыче и транспортировке является одной из основных проблем современной цивилизации. Для определения степени загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами необходимо использовать интегральные методы оценки. Количественная оценка токсичности загрязнённых почв основана на анализе зависимости между содержанием нефти в почве и показателями ее плодородия [1]. Одним из подходов к такой оценке является использование аттестованных методов фитотестирования. В Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений имеются всего две методики по определению токсичности почв ФР.1.39.2016.24117 «Методика определения токсичности почв по всхожести семян и измерению средней длины проростка кресс-салата (*Lepidium sativum*)» разработчиками которой являются авторы и ФР.1.39.2006.02264 «МВИ всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно - загрязнённых почв М-П-2006». Методика ФР.1.39.2006.02264 может быть применена к техногенно загрязнённым почвам (минеральных грунтов) с содержанием гумуса не более 8%.

Целью данной работы является определение токсичности серой лесной почвы загрязнённой нефтью по разработанной методике ФР.1.39.2016.24117. Эксперимент проводили в лабораторных условиях [2].

В качестве модельной почвы использовали серую лесную почву. Модельная почва была отобрана в Республике Башкортостан в удалении от дорог и населённых пунктов более 500 метров, глубина отбора составляла 0-10 см. Физико-химические показатели почвы приведены в таблице 1

Таблица 1 – Основные физико-химические показатели анализируемой почвы

| Анализируемые показатели | Серая лесная (0-10см) | ГОСТ |
|---|-----------------------|---------------------------|
| Влажность, % | 1,80 | ГОСТ 28268-89 |
| Содержание гумуса, % | 4,26 | ГОСТ26213-91 |
| Сумма поглощённых оснований, м-экв/100г | 9,29 | ГОСТ 27821-88 |
| pH _{KCl} солевой вытяжки почв | 3,49 | ГОСТ 26483-85 |
| pH водной вытяжки почв | 4,82 | ГОСТ 26423-85 |
| Минерализация водной вытяжки почв, ppm | 17,10 | с помощью прибора СОМ-100 |

Модельную почву загрязнили нефтью по массе почвы (10% от массы), далее делали ряд разбавлений модельной загрязнённой почвы контрольной почвой 1:2, 1:4, 1:8, 1:16 получая концентрацию нефти в почве по массе почвы 5%, 2,5%, 1,25%, 0,625%. В качестве контроля использовали незагрязнённую почву соответствующего типа.

В испытываемые стаканчики помещали по 50,0 г загрязненной почвы или её разбавлений. Каждое разбавление и контрольную пробу дублировали в трёх повторностях. В каждый испытываемый стаканчик высевали по 20 семян кресс-салата примерно на одинаковом расстоянии друг от друга на глубину 0,5-1,0 см. Испытываемые стаканчики поливали 15 мл дистиллированной водой.

Продолжительность эксперимента составляла 7 дней. На восьмой день измеряли всхожесть семян, общую длину проростка и средний сухой вес проростка кресс-салата. Статистическую обработку данных проводили с использованием стандартных методов по программе «Statistica – 7.0».

Результаты исследования показали, что всхожесть семян в пробе, содержащей 10% нефти, составила 21,7%, в пробе содержащей 5% - 25,0 %, в остальных случаях всхожесть составила более 90,0% (таблица 2).

Общая длина проростков кресс-салата реагировала на изменение концентрации нефти в почве - с уменьшением концентрации нефти увеличивалась длина проростка, что нельзя сказать о сухом весе. Данный параметр с уменьшением концентрации токсиканта также уменьшается, проявляя стимулирующее действие (таблица 2).

Проведенные экспериментальные данные показывают, что нефть в больших концентрациях оказывает токсическое действие на длину проростка и стимулирующее действие на сухой вес проростка (таблица 2).

Таблица 2 - Средние значения анализируемых параметров

| Анализируемый параметр | Контрольная проба | Разбавления | | | | |
|---------------------------|-------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | Неразбавленная проба (1-0) | 1-2 | 1-4 | 1-8 | 1-16 |
| Всхожесть семян, % | 90,00 | 21,70 | 25,00 | 90,00 | 95,00 | 90,00 |
| Общая длина проростка, мм | 93,59 | 32,27 | 40,07 | 68,55 | 77,72 | 84,14 |
| Сухой вес проростка, мг | 1,20 | 1,29 | 1,11 | 1,07 | 1,01 | 1,10 |

Достоверные коэффициенты корреляции между анализируемыми параметрами и кратностью разбавления были выявлены у таких параметров, как всхожесть семян и средняя длина проростка. Наиболее чувствительным параметром являлась средняя длина проростка (таблица 3).

Таблица 3 – Зависимость анализируемых параметров от кратности разбавления

| Анализируемые параметры | Коэффициент корреляции | Уравнение регрессии |
|-----------------------------|------------------------|----------------------------|
| Всхожесть семян, % | 0,70* | $Y=38,833+4,2500 \times X$ |
| Средняя длина проростка, мм | 0,82 | $Y=42,852+3,0492 \times X$ |
| Средний сухой вес проростка | -0,22 | $Y=1,1628-0,0082 \times X$ |

*Достоверный коэффициент корреляции

Y-Коэффициент разбавления;

X-анализируемый параметр

Выводы

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о негативном влиянии больших концентраций нефти на растения, что отрицательно сказывается на плодородии почвы. Из таблицы 3 видно, что наиболее чувствительным параметром к загрязнению является длина проростка. Согласно используемой методике ФР.1.39.2016.24117, именно по этому параметру можно определить кратность разбавления, при которой почва, загрязнённая нефтью, не будет оказывать токсическое действие на растения. Данный подход по определению токсичности почвы можно использовать для оценки эффективности мероприятий по ремедиации почв на загрязнённых территориях

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зейферт Д.В., Гамерова Л.М. Сравнительная оценка токсичности нефтей различных месторождений // Башкирский химический журнал. 2013. Т. 20. № 1. С. 79-83
2. Методика определения токсичности почв по всхожести семян и измерению средней длины проростка кресс-салата (*Lepidium sativum*) ФР.1.39.2016.24117.

УДК 66.011

МЕТОДЫ ОБОБЩЕНИЯ ДАННЫХ ПО ИНЕРЦИОННЫМ АППАРАТАМ И СИСТЕМАМ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ METHODS OF GENERALIZATION OF DATA IN INERTIAL DEVICES AND SYSTEMS DUST COLLECTION

Александр Анатольевич Виноградов*, **Александр Сергеевич Белоусов***,
Сергей Геннадьевич Сафонов**
Alexander S. Belousov*, **Victor V. Golovanov***, **Sergey G. Safonov**

**Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва*

***The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: as.belousov-2@yandex.ru)*

***Научно-производственный комплекс «ОйлГазМаш», Россия, Подольск
**Research and production complex "Oylgazmash", Russia, Podolsk*

Аннотация: Исследован приближенный подход общего описания центробежного пылеулавливания в различных аппаратах. Рассчитана структура течений в вихревом аппарате со встречными закрученными потоками. Уточнены уравнения для сравнительного анализа групп аппаратов и расчета систем пылеулавливания.

Abstract: The approximate approach of the General description of centrifugal dust collection in various devices was investigated. The flows structure in vortex chamber with counter-swirling flows were studied. Equations for comparative analysis for groups of devices and calculation of dust collection systems were specified.

Ключевые слова: вихревые течения, центробежное разделение, пылеулавливание.

Keywords: vortex flow, centrifugal separation, dedusting.

Вероятностно-энергетический метод (ВЭМ) приближенного расчета пылеуловителей инерционного типа позволяет рассчитывать разработанные конструкции и проводить сравнение механических пылеуловителей различных типов [1-2]. Представляет значительный интерес включить в такие группы сравнения также пылеуловители со встречными закрученными потоками (ВЗП). В работе [3] показано, что в значительной части рабочей области аппарата ВЗП с тангенциальными вводами можно принять одинаковыми параметры функции фракционной эффективности: $d_{\eta=50}$ – медиана распределения и $\lg \sigma_{\eta}$ – стандартное отклонение функции распределения. Поскольку в уравнениях ВЭМ участвует критерий гидродинамического режима (число Re), то надо иметь в виду, что обобщение данных по группам пылеуловителей инерционного типа подразумевает также достаточно близкую макроструктуру потоков в аппаратах. Аппараты ВЗП с хотя и имеют два тангенциальных ввода, но по основным физическим принципам относятся к центробежным пылеуловителям, поэтому и целесообразно включить их в вероятностно-энергетическую методику.

Однако для аппарата высокой эффективности (ВЗП-М) практически не проводились исследования трехмерной гидродинамики, позволяющих оценить макроструктуру течений. Имеется единственное исследование такого рода [4], в котором с помощью стандартной $k - \varepsilon$ модели турбулентности получены необычно сложные структуры течений газовой фазы, не встречающиеся в литературе ни в каких исследованиях аппаратов ВЗП и циклонов. Например, это замкнутый тороидальный вихрь под тангенциальным вводом, а также двойной вихрь вращения в плановом сечении аппарата. Отметим, что в ряде работ [5-6], установлено, что $k - \varepsilon$ модель непригодна для расчета вихревых потоков, поэтому исследование [4] требует проверки.

В данной работе для моделирования аппарата ВЗП-М применена академическая версия системы вычислительной гидродинамики ANSYS 19.2. Поскольку для вихревых аппаратов характерна анизотропия турбулентных напряжений [7], то необходима более сложная модель турбулентности, чем $k - \varepsilon$. Этому условию удовлетворяет модель напряжений Рейнольдса (RSM), которая замыкает осредненные уравнения Навье-Стокса с помощью уравнений переноса для напряжений Рейнольдса вместе с уравнением для скорости диссипации энергии турбулентности. При этом в случае 3-D моделирования надо решать семь дополнительных уравнений переноса. Модель RSM описывает явления кривизны, вращения и быстрые изменения скорости.

Если действительные значения давления и скорости представить в виде суммы осредненных (\bar{V}, \bar{P}) и пульсационных величин: $V = \bar{V} + V'$, $P = \bar{P} + P'$, то путем ряда преобразований уравнений Навье-Стокса получаем уравнения для компонент турбулентных напряжений $\sigma_{ij} = -\rho \overline{V'_i V'_j}$:

$$\begin{aligned} \rho \bar{V}_k \frac{\partial \overline{V'_i V'_j}}{\partial X_k} = & -\rho \left(\overline{V'_i V'_k} \frac{\partial \bar{V}_j}{\partial X_k} + \bar{V}_j \overline{V'_k} \frac{\partial \bar{V}_i}{\partial X_k} \right) + P' \left(\frac{\partial V'_i}{\partial X_j} + \frac{\partial V'_j}{\partial X_i} \right) - \\ & - \rho \frac{\partial}{\partial X_k} (\overline{V'_i V'_j V'_k}) - \left[\frac{\partial}{\partial X_i} (\overline{P' V'_j}) + \frac{\partial}{\partial X_j} (\overline{P' V'_i}) \right] + \mu \left(\overline{V'_i \frac{\partial^2 V'_j}{\partial X_k^2}} + \overline{V'_j \frac{\partial^2 V'_i}{\partial X_k^2}} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

В системе ANSYS 19.2 применены некоторые особенности в реализации модели (1). Третий и четвертый члены (обозначим их $D_{T,ij}$) в правой части (1) моделируются с помощью упрощенной скалярной модели турбулентной диффузии:

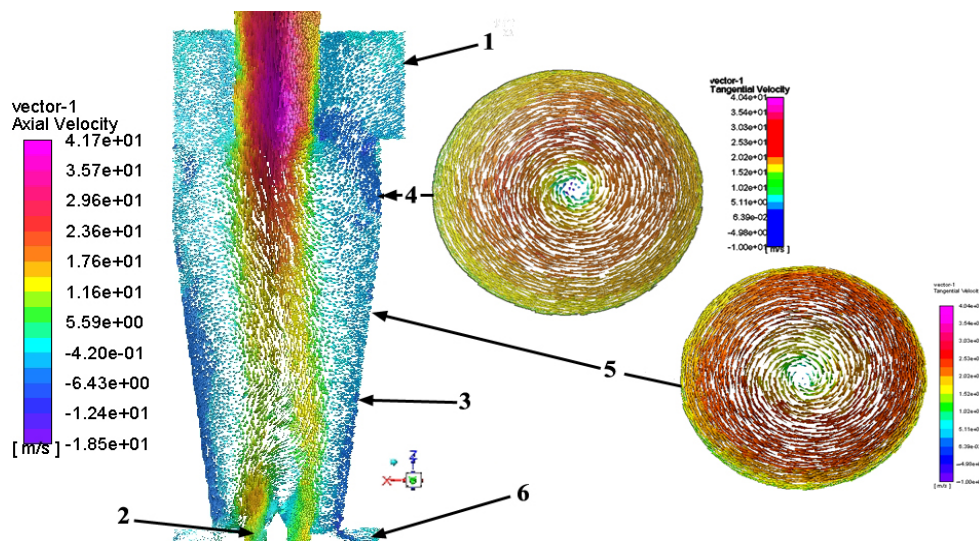
$$D_{T,ij} = \frac{\partial}{\partial X_k} \left[\frac{\partial}{\partial X_k} (\overline{V'_i V'_j}) \cdot \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right] \quad (2)$$

где $\sigma_k = 0,82$. Второй член уравнения (1), отвечающий за порождение или разрушение компонент вследствие пульсаций давления (обозначим его как ϕ_{ij}) в ANSYS 19.2 моделируется в соответствии с предложениями трех авторов, суммированных в работе [9]:

$$\phi_{i,j} = \phi_{i,j,1} + \phi_{i,j,2} + \phi_{i,j,w}, \quad (3)$$

$$\phi_{i,j,1} = -C_1 \frac{\varepsilon}{k} \left\{ \left[\overline{V_i' V_j'} \right] - \frac{2\delta_{ij}k}{3} \right\}, \quad (4)$$

где k – энергия пульсационного движения, δ_{ij} – символ Кронекера, ε – скорость диссипации турбулентности. Второй компонент уравнения (3) моделируется в виде линейной суммы от членов уравнений (1). Прочие компоненты уравнений (1) и (3) моделируются в соответствии со стандартной моделью RSM [10]. На рисунке 1 представлены полученные в результате расчетов векторные структуры течений для радиальной и тангенциальной скоростей.



1 – Вход верхнего потока; 2- завихритель нижнего потока; 3 – корпус аппарата, векторное поле аксиальной скорости; 4 – сечение в цилиндрической части, векторное поле тангенциальной скорости; 5 – сечение в конической части, векторное поле тангенциальной скорости; 6 - бункер.

Рисунок 1 Расчет векторных распределений полей скоростей в аппарате ВЗП-М.

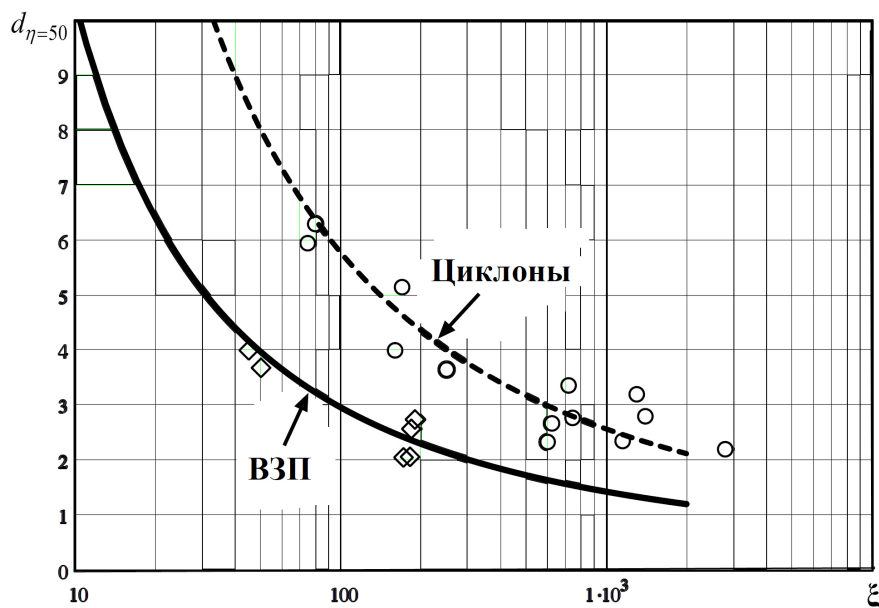
Как следует из рисунка 1 в рабочем объеме аппарата наблюдается достаточно ровная структура потоков, близкая к цилиндрическому течению и не содержащая каких-либо замкнутых циркуляционных зон. Сечения в цилиндрической и конической частях аппарата также указывают на единственный вихрь, близкий к осесимметричному. Таким образом, макроструктура течений близка к циклонным потокам, что позволяет применить для описания и анализа циклонов и ВЗП единую вероятностно-энергетическую методику.

Если при осаждении частиц наибольшее влияние оказывают инерционные факторы, то при больших числах Рейнольдса для параметра $d_{\eta=50}$, для обобщения данных по осаждению получаем критериальное уравнение:

$$Stk_{50} = \frac{d_{50}^2 \cdot \rho_m \cdot v_g}{18 \cdot \mu_g \cdot l} = f(Eu) = f\left(\frac{\Delta P}{\rho_g \cdot v_g^2}\right) \quad (5)$$

где ΔP – потери давления, Stk_{50} - значение Stk для параметра $d_{\eta=50}$, μ , v_g , ρ , ρ_m – вязкость, скорость и плотность газа и частиц. Из (5), обрабатывая расчетные, экспериментальные исследования, материалы справочников, получаем зависимости между $d_{\eta=50}$ и коэффициентом сопротивления аппарата. Однако по таким данным трудно проводить сравнительную оценку разных пылеуловителей, так как так все они имеют разные диаметры, производительность и

энергозатраты. Поэтому на рис.2 представлены зависимости условной эффективности от коэффициентов сопротивления аппаратов, пересчитанные на одинаковую производительность и потерю давления, (обработаны данные по 14 циклонам и 6 аппаратам ВЗП).



О - экспериментальные данные по циклонным аппаратам; \diamond - данные по аппаратам ВЗП; ---- - расчет по уравнению (6); — - расчет по уравнению (7).

Рисунок 2 – Зависимость медианного диаметра частиц фракционной характеристики от коэффициента гидравлического сопротивления аппаратов.

Полученные данные были обработаны с помощью нелинейного метода наименьших квадратов (градиентной оптимизации). Для циклонов и ВЗП соответственно получены уравнения:

$$d_{50} = 23,1 \cdot \lg(\zeta)^{-2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot \mu \cdot V_{0T} \cdot \rho_{mT}}{V_0 \cdot \rho_m \cdot D_T \cdot \mu_T}}, \quad (6)$$

$$d_{50} = 10,3 \cdot \lg(\zeta)^{-1.8} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot \mu \cdot V_{0T} \cdot \rho_{mT}}{V_0 \cdot \rho_m \cdot D_T \cdot \mu_T}}, \quad (7)$$

где D и V_0 - соответственно диаметр аппарата и средняя по расходу скорость в сечении цилиндрической части. Данные на рисунке 2 показывают, что при замене циклонов на вихревые аппараты типа ВЗП можно получить выигрыш в энергозатратах. Уравнения, аналогичные (6-7) получены также для мокрых пылеуловителей инерционного типа (1-2).

Используя преобразование [3], объединим полученные уравнения с алгоритмом расчета двухступенчатых систем пылеочистки [11], в котором разложим внутренний интеграл $F_0(x)$ в ряды:

$$\eta^0 = \eta^I + \eta_{wx}^{II} - 1/\sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F_0(a_1 \cdot Z + b_1) F_0(a_2 \cdot Z + b_2) e^{-Z^2/2} dZ \quad (8)$$

$$F_0(x) = 1 - \varphi(x) \sum_{i=1}^3 a_i \cdot t^i + \varepsilon(x) \quad (9)$$

$$t = 1/(1 + px), \quad \varphi(x) = 1/\sqrt{2\pi} \cdot e^{-x^2/2} \quad (10)$$

$$a_1 = 0,4361836, \quad a_2 = -0,1201676$$

$$a_3 = 0,9372980, \quad |\varepsilon(x)| \leq 1,0 \cdot 10^{-5}$$

Для параметров a_i , b_i необходимы значения медианы фракционной эффективности, которые определяем по уравнениям типа (6-7). Поскольку расчеты в (8-9) не зависят от типа аппарата, то в целом, по системе (6-10) можем рассчитывать двухступенчатые системы из разнородных аппаратов (например “ВЗП – мокрый пылеуловитель”), что при приемлемом повышении затрат может значительно увеличить эффективность очистки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вальдберг А.Ю., Сафонов С.Г. Основы расчета эффективности газоочистных аппаратов инерционного типа //Хим. и нефтегазовое машиностроение. 2006. №9. С. 43-44.
2. Вальдберг А.Ю. Современные тенденции в развитии теории и практики пылеулавливания //Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2007. №7. С.48-50.– 98 с.
3. Сажин Б.С., Гудим Л.И. Вихревые пылеуловители. М.: Химия, 1995. – 144 с.
4. Поляков, С. Н. Анализ эффективности пылеулавливания вихревого аппарата ВЗП-М 200 с помощью программного комплекса ANSYS CFX // ANSYS Advantage. – 2008, (7). - С. 29-33.
5. Hoffmann A.C., Stein L.E. Gas Cyclones and Swirl Tubes. – Berlin Heidelberg New York: Springer. 2008. – 422 P.
6. Белоусов А.С., Голованов В.В., Виноградов А.А. Расчет полей скоростей в вихревом пылеуловителе // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018): сборник материалов Международной научно-технич. конференции. Часть 3. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2018. С. 89-93.
7. Белоусов А.С., Сажин Б.С. Радиальный сток в центробежных пылеуловителях // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2006. - № 4 (292). - С. 96–100.
8. ANSYS Fluent Theory Guide. R.13.0 / ANSYS, Inc. - Canonsburg, 2011 – 794 p.
9. В. Е. Launder. Second-Moment Closure and Its Use in Modeling Turbulent Industrial Flows // International Journal for Numerical Methods in Fluids, 1989. - № 9. – P. 963-985.
10. Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений.- СПб.: Балт. гос. Техн. ун-т, 2001. - 108 с.
11. Слабова К.Д., Цинцадзе М.З., Белоусов А.С. Выбор и расчет двухступенчатой установки центробежных аппаратов защиты атмосферы // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2017): сборник материалов Всероссийской научной студенческой конференции. Часть 2. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2017. – С. 100-102.

УДК 628.3

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА
КАЧЕСТВО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ANALYSIS OF THE METHODS FOR ASSESSING THE IMPACT OF MANMADE LOAD
ON THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT**

**Эдгар Сейранович Варданын, Антонина Александровна Захарова,
Валентина Сергеевна Салтыкова, Никита Павлович Борушко
Edgar S. Vardanyan, Antonina A. Zakharova, Valentina S. Saltykova, Nikita P. Borushko**

*Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: htipe-mgudt@yandex.ru)*

Аннотация. В статье рассмотрены методы оценки влияния технологических выбросов на качество окружающей среды, подходы к разработке конкретных показателей, характеризующих многокомпонентные газовые выбросы, сбросы сточных вод и образующие твердые отходы.

Annotation. The article discusses methods for assessing the impact of technological emissions on the quality of the environment, approaches to developing specific indicators characterizing multicomponent gas emissions, wastewater discharges and generating solid waste.

Ключевые слова: газовые выбросы, сточные воды, твердые отходы, классы опасности, комплексный показатель, индекс.

Keywords: gas emissions, wastewater, solid waste, hazard classes, integrated indicator index.

В последние годы, после очередных промышленных революций, происходит деградация биосферы, разрушение озонового слоя, прогрессирующее загрязнение окружающей среды твердыми, жидкими и газообразными веществами, обезвоживание материковых территорий, утрата климатической стабильности и т.д.

Человечество поставлено перед выбором дальнейшего пути развития: определение биологической емкости Земли, умеренность в потреблении природных ресурсов, поддержание факторов природы в состоянии, пригодном для проживания людей, животных и т.п.

Защита окружающей среды от промышленной деятельности человека является одной из важных задач развития общества на Земле. На данном этапе развития человечества необходимо разумно использовать природу, которая должна обеспечить комфортные условия для жизни человека.

Качество окружающей среды является основным фактором развития человеческого общества. Наличие городов экологического бедствия показывает, что человек живет в среде, в которой количество вредных веществ превышает ПДК (предельно-допустимая концентрация).

Для оценки экологической опасности предприятий, других объектов негативного воздействия на окружающую среду необходимо учитывать все виды источников загрязнения: выбросы и сбросы газов с вредными веществами, сбросы в сточные воды с учетом концентрации всех вредных веществ, твердые отходы производства, вывозимые на полигоны, возможные чрезвычайные ситуации (пожары, взрывы, наводнение и тому подобное).

В настоящее время качество окружающей среды оценивается параметрами, которые имеются в нормативных документах, начиная с 1965г. [1,2] Эти методы следующие: экологический мониторинг, биоэкологические методы, эколого-токсикологические методы, методы моделирования и прогнозы, методы управления.

Для оценки воздействия предприятий на окружающую среду разработаны комплексные показатели, которые учитывают состояние воздушной среды, сточных вод, структуры твердых отходов и другие факторы.

В качестве комплексного показателя использовать отношение δ_i , - это отношение действительной концентрации вредного вещества x_i к нормативному показателю этого вещества n_i или $(\text{ПДК}_i) \delta_i = \frac{x_i}{n_i}$.

К единичным показателям, которые необходимо учитывать, относятся: запах, хлориды, сульфаты, сульфиды, оксид хрома, фенолы, ПАВ, ХПК, ПБП₅, Р_h, сухой остаток и некоторые другие. Тогда отношение $\delta_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n_i}$ характеризует качество среды.

Недостатком вышеприведенного метода является отсутствие связи между показателями для воздуха сточной вод, почвы.

В данной работе в качестве показателя оценки воздействия на окружающую среду принят индекс D, характеризующий содержание вредных веществ в выбросах, сбросах, почве, за счет твердых отходов в зоне влияния предприятия.

$$D = (d_{\text{почв}} + d_{\text{вод}} + d_{\text{возд}} + d_{\text{отх}})$$

Величины $d_{\text{почв}}, d_{\text{вод}}, d_{\text{возд}}, d_{\text{отх}}$ - индексы характеризующие воздействие промышленного предприятия на параметры окружающей среды.

Индекс $d_{\text{возд}}$ определяется по уравнению:

$$d_{\text{возд}} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{ПДК}_n}{C_n} \text{КОП}$$

где: ПДК_n - предельно допустимые концентрации веществ в воздухе, мг/м³;

C_n - расчетная максимальная доза, мг/м³;

КОП - параметр характеризующий категорию опасности вещества. Для кожевенных и меховых предприятий КОП = 10³

$$\text{КОП} = (m / \text{ПДК}_n)^\alpha$$

где: m - масса выбросов предприятия вредного вещества в килограммах, α - коэффициент в зависимости от класса опасности:

| Класс опасности | α |
|-----------------|----------|
| I | 1,7 |
| II | 1,3 |
| III | 1,0 |
| IV | 0,9 |

Индекс $d_{\text{вод}}$ характеризует загрязнение сточных вод вредными веществами и зависит от их количества, а также от БПК (биологическое потребление кислорода, м²/л). В действительности суммарная величина ХПК (химическое потребление кислорода) больше, чем БПК. Так для операций кожевенных и меховых предприятий:

| отмока | обезволашивание | крашение |
|-----------------|--------------------|-------------------|
| БПК = 395 – 232 | БПК = 2000 – 13100 | БПК = 1800 – 5700 |
| ХПК = 760 – 940 | ХПК = 2500 – 13700 | ХПК = 2300 – 8900 |

Поэтому для расчета индекса $d_{\text{вод}}$ используется вместо БПК значение ХПК.

Расчет индекса $d_{\text{вод}}$ проводится по уравнению:

$$d_{\text{вод}} = \frac{1}{2} \left(\frac{2\text{ХПК}_д}{\text{ХПК}_д + \text{ХПК}_о} \right) + \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \frac{2C_{дi}}{C_{дi} + C_{оi}} \right)$$

где: $\text{ХПК}_д$ - действительное значение химического потребления кислорода для стока, мг/л;

$\text{ХПК}_о$ - допустимое потребление, мг/л;

$C_{дi}, C_{оi}$ - концентрация загрязняемого вещества в сточной воде, мг/л.

n - общее количество загрязняющих веществ в сточной воде, мг/л.

По этому показателю сточные воды делятся на 7 классов:

| | | |
|---------|-----------|-----------------------|
| 1 класс | ИЗВ<0,2 | очень чистые |
| 2 класс | 0,2<ИЗВ<2 | чистые |
| 3 класс | 1<ИЗВ <2 | умеренно загрязненные |
| 4 класс | 2<ИЗВ<4 | загрязненные |
| 5 класс | 4<ИЗВ<6 | грязные |
| 6 класс | 6<ИЗВ<10 | очень грязные |
| 7 класс | 10<ИЗВ | чрезвычайно грязные |

где: ИЗВ – индекс загрязненности воды

Индекс $d_{\text{почв}}$ характеризует деградацию почвы и для предприятий легкой промышленности обычно принимается в интервале от 0 до 2.

Индекс $d_{\text{отх}}$ для кожевенной и меховой промышленности не будет слишком большим по значению, так как твердые отходы этих предприятий перерабатываются в очень нужную продукцию: клей, белкозин, пористые и изоляционные материалы и др.[3,4]

По рассчитанному обобщенному индексу D можно оценить техногенное воздействие предприятий на окружающую среду с учетом особенности их технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков, В.А. Теоретические основы окружающей среды [Текст] : учеб. пособие / В.А. Волков; – СПб. : Лань, 2015. – 256 с.

2. Радионов, А.И. Техника защиты окружающей среды [Текст] : учеб. пособие для вузов / А.И. Радионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочинников; – М. : Химия, 1989. – 512с.

3. Кондауров, Б.П. Сточные воды кожевенного предприятия: проблемы и решения [Текст] / Б.П.Кондауров, А.А. Захарова, В.И. Александров, Л.Т. Бахшиева, В.С. Салтыкова; – М. : ИИЦ МГУДТ, 2011. – 295с.

4 Папин, А.В. Эффективная технология получения волокнисто-пористого материала [Текст] / А.В. Папин, Б.П. Кондауров // Экология и промышленность России. – 2011. – №7. С. 17-19

УДК 66.011

ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ВОЛОКНИСТОЙ ПЫЛИ TWO-STAGE INSTALLATION FOR AIR CLEANING FROM FIBRE DUST

Олег Савельевич Кочетов, Елена Сергеевна Бородина, Михаил Павлович Тюрин
Oleg S. Kochetov, Elena S. Borodina, Mikhail P. Tyurin

*Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: o_kochetov@mail.ru, borodina-es@rguk.ru, tjurinmp@yandex.ru)*

Аннотация: Для предприятия ОАО «Троицкая камвольная фабрика» была разработана двухступенчатая установка для очистки воздуха от вентиляционных выбросов гребнечесального цеха, где запыленность воздуха рабочей зоны превышала ПДК и составляла 8,5 мг/м³. В качестве первой ступени комбинированной очистки используется пылеуловитель ВЗП конструкции РГУ им. А. Н. Косыгина, а в качестве второй – инжекционно-пенный аппарат. Предложенная система воздухоочистки обеспечивает очистку воздуха от волокнистой пыли до уровня ниже ПДК, что удовлетворяет требованиям СНИП.

Abstract: For the enterprise Troitsk Worsted Factory OJSC, a two-stage installation was developed for air purification from ventilation emissions from the combing shop, where the dust content of the working area exceeded the maximum permissible concentration and amounted to 8,5 mg/m³. A dust collector with counter-swirling flows designed of the Kosygin University is used as

the first stage of combined cleaning, and as the second - injection-foam apparatus. The proposed air purification system provides air purification from fibre dust to a level below the maximum permissible concentration, which meets regulatory requirements.

Ключевые слова: пылеочистка, волокнистая пыль, аппарат ВЗП

Keywords: dust cleaning, fibrous dust, apparatus with counter-swirling flows

Количество и состав вентиляционных выбросов текстильных предприятий строго регламентирован, в частности в соответствии с законом РФ №7-ФЗ от 10.01.2002 «Об охране окружающей среды». Для предприятия ОАО «Троицкая камвольная фабрика» (г. Троицк Московской области) была разработана двухступенчатая установка для очистки воздуха от вентиляционных выбросов гребнечесального цеха, где запыленность воздуха рабочей зоны превышала ПДК и составляла 8,5 мг/м³. [1-4]

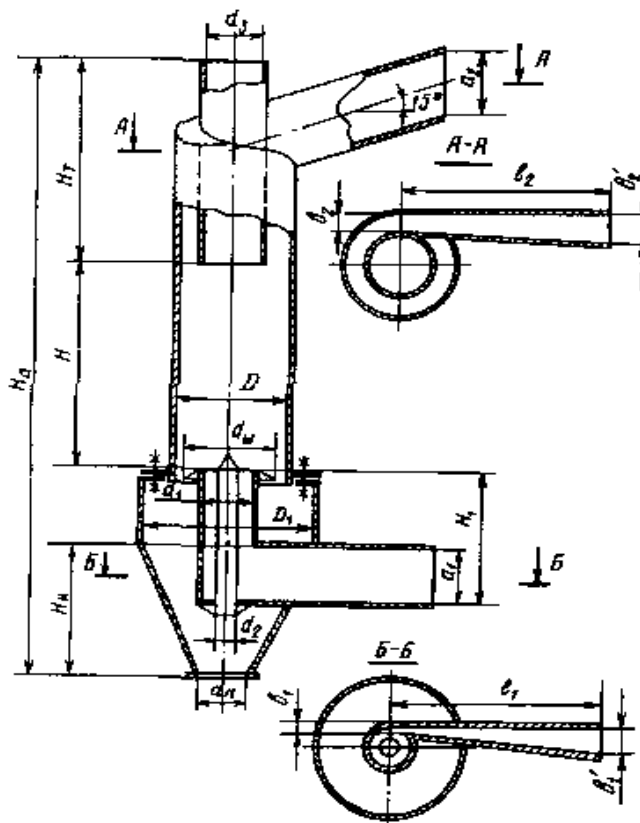
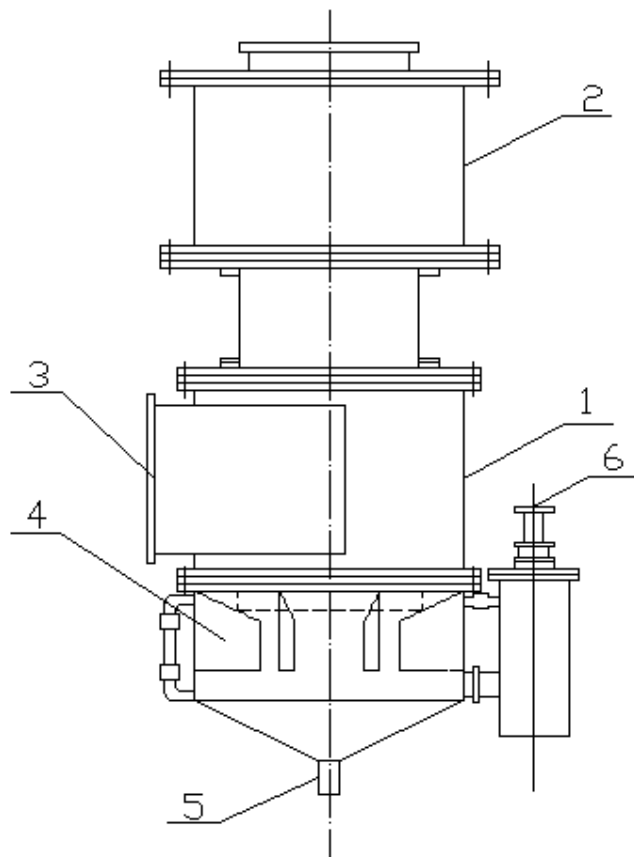


Рисунок 1 – I-я ступень: пылеуловитель ВЗП конструкции РГУ им. А. Н. Косыгина.

В качестве первой ступени комбинированной очистки используется пылеуловитель ВЗП (рисунок 1) конструкции РГУ им. А. Н. Косыгина, а в качестве второй – инъекционно-пенный аппарат (рисунок 2), работа которого основана на предварительном интенсивном закручивании газов вблизи зеркала рабочей жидкости, что приводит к подсосыванию ее в газовый поток и, дроблению на мелкие капли с последующим образованием быстро выходящейся механической пены [5, 7, 8].

Для гребнечесального цеха необходимая производительность системы вентиляции составляет 182 000 м³/ч. Для обеспечения необходимой производительности установки собираем батарею из 2-х аппаратов ВЗП-800, производительностью 12000 м³/ч каждый и батареи инъекционно-пенных аппаратов общей производительностью 200000 м³/ч.

Методы расчета и документация на аппараты типа ВЗП детально разработаны в РГУ им. А. Н. Косыгина [9; 10]. В соответствии с этим остановимся на подборе параметров инжекционно-пенного аппарата.



1 - корпус аппарата, 2 – корпус влагоотделителя, 4 - лопаточный закручиватель, 5 - бункер с жидкостью, 6-регулятор уровня жидкости.

Рисунок 2 – II-я ступень: инжекционно-пенный аппарат

Одним из важнейших параметров аппарата являются потери давления

$$\Delta P_{an} = \xi_{an} \frac{V_0^2}{2} \rho_p \quad (1)$$

где ξ_{an} - коэффициент аэродинамического сопротивления аппарата, принимаемый по экспериментальным данным; $V_0 = 7-8$ м/с – оптимальная скорость движения воздуха в контактно-выхлопной трубе; ρ_p - плотность очищаемого воздуха.

$$\Delta P_{an} = 16 \cdot \frac{7,5^2}{2} 1,2 = 540 \text{ Па}$$

Тогда

При заданной производительности аппарата определяют необходимый диаметр контактно-выхлопной трубы, м:

$$d_{тр} = 2 \cdot \left(\frac{L_{an}}{\pi \cdot V_0} \right) = 2 \cdot \left(\frac{20000}{\pi \cdot 7,5 \cdot 3600} \right) = 0,97 \text{ м} \quad (2)$$

При принятом числе лопаток и расположении их по касательной относительно спиралей Архимеда диаметр корпуса аппарата, м, определяют из соотношения:

$$d_k = 1,55 d_{тр} = 1,55 \cdot 0,5 = 1,5 \text{ м}$$

Из условия интенсивного закручивания воздуха и создания инжекции жидкости по опытным данным высоту лопатки, м, принимают:

в месте соприкосновения с выхлопной трубой:

$$h_{\text{л}} = 0,5d_{\text{тр}} = 0,49 \text{ м}$$

в месте соприкосновения с корпусом аппарата:

$$h'_{\text{л}} = 0,75d_{\text{тр}} = 0,73 \text{ м}$$

Размеры поперечного сечения тангенциального входного патрубка, м, у корпуса аппарата из условия усиленного начального закручивания воздуха должна быть:

Высота: $a_1 = 0,8d_k = 1,2$

Ширина:

$$b_1 = \frac{Laa}{a_1 \cdot Vm.n.} = \frac{20000}{1,2 \cdot 15 \cdot 3600} = 0,31 \text{ м} \quad (3)$$

где $Vm.n.$ – скорость загрязнённого воздуха в тангенциальном патрубке на входе в корпус аппарата (12-15 м/с)

Минимально допустимая высота зоны начального закручивания определяется из соотношений:

$$h_{\text{н.з.}} = a_1 + h'_{\text{л}} - h_{\text{л}} = (1,05 \div 1,25)d_{\text{тр}}$$

$$h_{\text{н.з.}} = 1,21 \text{ м}$$

Высота корпуса аппарата, м:

$$h_{\text{к}} = a_1 + h'_{\text{л}} + h_7 = (2,05 \div 2,25)d_{\text{тр}}$$

где $h_7 = 0,5d_{\text{мп}}$ – высота от нижней кромки закручивателя до низа корпуса аппарата.

Минимальную высоту конусообразного днища корпуса аппарата (бункера) определяют исходя из того, что угол наклона его стенок должен быть не менее 30° во избежание налипания на стенках шлака при выпуске его, т.е.

$$h_8 = \frac{d_k}{2} \operatorname{tg}30^\circ = 0,44 \text{ м}$$

или

$$h_8 = 0,45 \cdot d_{\text{тр}} = 0,44 \text{ м}$$

Минимальную высоту контактно-выхлопной трубы, м, с учётом возможности колебаний уровня слоя пены принимают из выражения:

$$h_{\text{тр}} = 2,5 \left(0,29 \cdot V_0^{\frac{1}{4}} - k \cdot v_p + 0,02 \right) (4,3d_{\text{тр}})^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

Через центральное отверстие нижней тарелки сепаратора должна проходить половина расхода воздуха, поэтому диаметр корпуса влагоотделителя, м, можно найти из выражения:

$$d_{\text{вл}} = \left(\frac{2L_{an}}{\pi V_{\text{доп}}} + d_1^2 \right) = 1,48 \text{ м} \quad (5)$$

где $V_{\text{доп}} = 5 \text{ м/с}$ – максимально допустимая скорость движения воздуха во влагоотделителе из условия оседания в нём водяных капель диаметром 1-3 мм.

Входной цилиндр нижней тарелки расположен против центра воздушного потока, движущегося в контактно-выхлопной трубе. Для турбулентного режима движения кривая профиля скорости вблизи оси потока имеет почти выровненный участок. Это позволяет принять скорость воздуха во входном цилиндре равной максимальной его скорости в контактно-выхлопной трубе, т.е.

$$V_{\text{max}} = 1,25 \cdot V_0 = 9,375 \text{ м/с}$$

или

$$V_{\text{max}} = \frac{5 \cdot L_{an}}{\pi \cdot d_{\text{тр}}^2} = 9,375 \text{ м/с}$$

Диаметр верхней тарелки сепаратора, м, находят из соотношения:

$$d_3 = \left(d_{\text{вл}}^2 - \frac{4 \cdot L_{an}}{\pi \cdot V_{\text{доп}}} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,875 \text{ м}$$

Расстояния между нижней и верхней тарелками сепаратора, определяют из условия движения воздуха с допустимой скоростью между их плоскостями по окружности верхней тарелки, т.е.:

$$h_3 = \frac{L_{ан}}{2 \cdot \pi \cdot d_3 \cdot V_{доп}} = 0,202 \text{ м}$$

Общая высота корпуса влагоотделителя, м, составляет:

$$h_3 = h_1 + h_3 + h_4 + h_5 = 1,12 \text{ м}$$

Общая высота аппарата от основания бункера и до плоскости сечения выходного патрубка, м, будет равна:

$$h_{ап} = 0,485 + 2,67 + 1,12 + 0,1 - 0,146 + 0,5 \cdot 0,97 + 0,44 = 5,154 \text{ м}$$

При этом система двухступенчатой очистки воздуха от волокнистой пыли, состоящей из 2-х аппаратов ВЗП-800, производительностью 12000 м³/ч каждый и батареи инжекционно-пенных аппаратов общей производительностью 200000 м³/ч, обеспечивает очистку воздуха от волокнистой пыли до уровня ниже ПДК, что удовлетворяет требованиям СНИП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М.: Химия, 1984.–320 с.
2. Голубев Л.Г., Сажин Б.С., Валашек Е.Р. Сушка в химико-фармацевтической промышленности. М.: Медицина, 1978.–272 с.
3. Лыков М.В., Леончик Б.И. Распылительные сушилки. М.: Машиностроение, 1966. – 257 с.
4. Чунаев М.В., Сажин Б.С., Кочетов О.С., Сажин В.Б. Разработка метода и рациональной схемы комплексной обработки воздуха для повторного использования тепла. Успехи в химии и химической технологии. Т. XIX. № 10 (58). 2005. С. 106-109.
5. Кочетов О.С. Способ виброакустического пылеулавливания // Патент РФ на изобретение № 2284225. Опубликовано 27.09.2010. Бюллетень изобретений №27.
6. Кочетов О.С. Акустический циклон // Патент РФ на изобретение № 2268090. Опубликовано 20.01.2006. Бюллетень изобретений №2.
7. Кочетов О.С. Установка акустическая пылеулавливающая типа АКФ-2// Патент РФ на изобретение № 2314168. Опубликовано 10.01.2008. Бюллетень изобретений №1.
8. Кочетов О.С. Установка акустическая пылеулавливающая типа АКУРФ-1 // Патент РФ на изобретение № 2305601. Опубликовано 10.09.2007. Бюллетень изобретений №25.
9. Кочетов О.С. Установка акустическая пылеулавливающая типа АКФ-3// Патент РФ на изобретение № 2306184. Опубликовано 20.09. 2007. Бюллетень изобретений №26.
10. Кочетов О.С. Установка акустическая пылеулавливающая типа АКУРФ-2 // Патент РФ на изобретение № 2302283. Опубликовано 10.07. 2007. Бюллетень изобретений №19.

УДК 628.3

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ
СОРБЦИОННЫМ МЕТОДОМ
EFFICIENCY OF CLEANING WASTE WATER FROM PETROLEUM PRODUCTS BY
SORPTION METHOD**

**Антонина Александровна Захарова*, Валентина Сергеевна Салтыкова*,
Эдгар Сейранович Варданыан*, Ефим Семенович Вайнерман**,
Никита Павлович Борушко*
Antonina A. Zakharova*, Valentina S. Saltykova*, Edgar S. Vardanyan*,
Efim S. Vainerman**, Nikita P. Borushko***

**Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
*The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: htipe-mgudt@yandex.ru)*

***ООО «Хайдекс», Россия, Москва
** ООО «Haydeks», Russia, Moscow*

Аннотация: В работе для очистки сточных вод от нефтепродуктов в качестве сорбентов использовался модифицированный торф и кожеподобный макропористый материал.

Annotation: Modified peat and skin-like macroporous material were used as sorbents for wastewater treatment from oil products.

Ключевые слова: сорбент, торф, макропористый материал, нефтепродукт, степень поглощения.

Key words: sorbent, peat, macroporous material, oil product, absorption rate.

Очистка сточных вод от нефтепродуктов является одной из важных задач защиты гидросферы, для сохранения окружающей среды. При разливе нефти и нефтепродуктов страдает не только гидросфера, но и атмосфера за счет их испарения, литосфера за счет изменения состава почвы в результате проникновения нефтепродуктов, что приводит к гибели целого ряда насекомых и бактерий, живущих в почве.

Нефтепродукты в сточные воды попадают из ливневых стоков, при сбросе производственных стоков, от автомоек и т.д. Концентрация нефтепродуктов в сточных водах может быть весьма значительной, нефтепродукты могут покрывать поверхность водоемов пленкой толщиной до 10 -15 мм.

Для очистки стоков от нефтепродуктов в настоящее время используют отстойники (нефтеуловители), различные сорбенты и биологические методы. В качестве сорбентов применяются пористые материалы: коксовая мелочь, силлакагели, алюмогели, активные угли различных марок, торф и др. Удельная поверхность адсорбентов для поглощения нефти составляет 400 – 900 м²/г. Основные требования, предъявляемые к сорбентам для нефтепродуктов: нетоксичность, эффективность, дешевизна, плавучесть, способность к многократному использованию, легкость утилизации [1]

Широкое распространение получили сорбенты на растительной и минеральной основе: торф, опилки, древесная мука и др. Сформулировано основное требование к адсорбентам, применяемым для сорбции нефтепродуктов с поверхности воды: энергия связи адсорбента с молекулами нефтепродуктов должна иметь как можно большее значение по сравнению с энергией связи их с водой. Этому правилу отвечают углеродные материалы, к которым относится торф.

В данной работе рассматривается сорбционный метод очистки стоков от нефтепродуктов. В качестве сорбентов использованы модифицированный торф [2], коллагенсодержащий материал, полученный из отходов кожевенно-обувной промышленности [3]. Природный материал торф предварительно подвергался термической модификации при температуре 100° и 170°С в течении часа. Нефтепродуктам служил бензин АИ-92. Экспериментальные данные, полученные по изменению массы образца торфа в процессе сорбции бензина, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение массы образца и степени поглощения(α).

| Время мин. | Температура термообработки торфа | | | | | |
|---------------|----------------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
| | 20°С, масса ,г | α ,% | 100°С, масса ,г | α ,% | 170°С, масса ,г | α ,% |
| 0 | 0,300 | 0 | 0,300 | 0 | 0,300 | 0 |
| 10 | 1,685 | 461 | 1,870 | 523 | 1,920 | 540 |
| 20 | 1,730 | 477 | 1,945 | 548 | 2,010 | 570 |
| 30 | 1,840 | 551,8 | 2,050 | 583 | 2,085 | 595 |
| 60 | 1,015 | 553,8 | 2,085 | 595 | 2,145 | 615 |

Как видно из данных таблицы 1, использованный в работе торф способен хорошо поглощать бензин АИ -92. Степень поглощения бензина за время опыта 1 час меняется от 538 до 615% в зависимости от температуры модификации торфа. Максимальное поглощение бензина происходит за первые 10 минут процесса. Температура модификации торфа оказывает незначительное влияние на степень поглощения. Степень поглощения рассчитывалась по формуле

$$\alpha = (M_i - M_n) \cdot 100 / M_n, \%$$

где: M_n – начальная масса образца;

M_i – масса образца после сорбции

Эксперименты, проведенные по изучению процесса поглощения бензина АИ -92 кожеподобным материалом, показали, что данный материал является наиболее нефтеемким. Степень поглощения составила 1195%.

В сточных водах нефтепродукты обычно распределены на поверхности жидкости в виде пленки (или пятна) толщиной от 1 мм и выше. Поэтому в работе были проведены опыты по сорбции нефтепродуктов с поверхности воды при толщине пленки 4 мм. Степень поглощения из системы нефть-вода составила 1300%, что гораздо выше, чем из чистой нефти. Возможно это связано с тем, что кожеподобный материал частично поглощает и воду. Повышение степени поглощения составило 10%.

Для приближения к естественным условиям, т.е. к морской воде, были проведены опыты по поглощению нефти с поверхности соленой воды при концентрации хлорида натрия 5% при толщине пленки нефти 4 мм. В этих условиях степень поглощения составила 1280%. В соответствии с полученными результатами макропористый материал вполне пригоден для улавливания бензина АИ 92 из объема смеси бензин-вода и бензин-раствор-соли.

В процессе всех экспериментов с макропористым материалом при поглощении бензина не наблюдалось его разрушение. Поэтому, после проведения десорбции поглощенного бензина методом механического отжима прессом или центрифугой образцы были использованы для повторного процесса адсорбции. Опытным путем установлено, что циклы адсорбция-отжим-адсорбция могут повторяться 15 – 20 раз. Такие же данные были получены при работе с торфом. Использование этих сорбентов позволяет собирать разлитые нефтепродукты и использовать их по назначению. И использованные отработанные сорбенты можно применять в качестве топлива для утилизации.

Таким образом, данные сорбенты вполне могут найти применение для очистки от нефтепродуктов ливневых стоков и при локальной очистке сточных вод автомоек, бензозаправочных станций и т.д. Достоинством этих сорбентов, как показали опыты, является

возможность их многократного использования для очистки стоков от нефтепродуктов. Отработанные сорбенты не являются отходами, т.к. утилизируются термическим способом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калыгин В.Г. Промышленная экология. Учебное пособие для студентов. // В.Г. Калыгин-М. :издательский центр «Академия» 2004 г. – 432 с//
2. Салтыкова В.С. Использование природного сорбента для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. //В.С. Салтыкова, А.А. Захарова, А.В. Юркова. МНТК плановский – 2016 г., т. 2. с. 308-310
3. Захарова А.А. Использование волокнисто-пористого коллагенсодержащего материала для очистки сточных вод. // А.А. Захарова, В.С. Салтыкова, Е.С. Вайнерман Дизайн и технологии. Научный журнал № 66 (108). – М: РГУ им. А.Н. Косыгина. 2018. с. 76 – 79

УДК 613.2

УТИЛИЗАЦИЯ ПОПУТНЫХ НЕФТЯНЫХ ГАЗОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН UTILIZATION OF ASSOCIATED PETROLEUM GAS IN THE FIELDS OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Хилолахон Авазовна Ахмедова
Khilolakhon A. Akhmedova

АО «O'ZLITINEFTGAZ»(Промышленная и экологическая безопасность),
Узбекистан, Ташкент.

JSC «O'ZLITINEFTGAZ» (Industrial and ecological safety), Uzbekistan, Tashkent.
(e-mail: ecolog@liting.uz)

Аннотация: Приведены результаты утилизации попутного нефтяного газа на месторождениях Республики Узбекистан. Показано, что за счет реализации трех проектов степень утилизации попутного газа составляет 83 %, а объем выброса вредных веществ в атмосферу сокращен на более, чем 40 тыс. тонн в год. Установлена возможность утилизации попутного газа в Узбекистане до 95 % за счет реализации ряда перспективных проектов.

Abstract: The results of associated petroleum gas utilization at the fields of Uzbekistan are presented. It is shown that due to the implementation of three projects, the degree of utilization of associated gas has been reached to 83 % and the amount of harmful substances released into the atmosphere has been reduced by more than 40 thousand tons per year. The possibility of utilization of associated gas in Uzbekistan to 95% due to the implementation of a number of promising projects.

Ключевые слова: месторождение, газ, утилизация, вещество, выброс, атмосфера, снижение, проект, концепция, инвестиция, добыча, нефть, эффективность.

Keywords: field, gas, recycling, substance, overshoot, atmosphere, decline, project, concept, investment, production, oil, efficiency.

В первой половине XXI века практически всех странах мира ожидается рост потребления нефти и газа. Существующие методы добычи и использования нефти и газа вносят самую большую долю в ухудшение экологической обстановки планеты. В настоящее время в нефтегазовой отрасли одной из главных проблем экологии и энергетики является сжигание попутного нефтяного газа (далее - ПНГ) на факелах. Причинами низкой степени утилизации попутного нефтяного газа при разработке месторождений углеводородов являются [1-2]:

- отдаленность большого количества скважин с низким давлением;

- относительно небольшие объемы попутного газа;
- потенциальная нестабильность потока попутных газов в нефтедобыче;
- неадекватная инфраструктура или отсутствие доступа к ней при сборе, переработке и транспортировке газа;
- наличие примесей в газе, затрудняющих его использование;
- риск нарушения процесса нефтедобычи при закачке газа в нефтяной пласт;
- относительно низкие цены на попутный газ и трудности в финансировании капитальных вложений.

Потери нефтяного газа формируется в основном за счет мелких, малых и средних по запасам и удаленных от инфраструктуры месторождений, которые в последние годы продолжают увеличиваться. Применяемые в настоящее время схемы утилизации ПНГ включают в себя три основных направления [3-4]:

- подача после предварительной подготовки попутного нефтяного газа по газопроводам энергетикам;
- переработка попутного нефтяного газа с вывозом продуктов;
- использование попутного нефтяного газа на собственные нужды промысла.

В настоящее время объем сжигаемого газа в мире составляет порядка 150 млрд.м³ в год. По данным, полученным из спутников, сжигание попутного нефтяного газа имеет место во всех нефтегазодобывающих странах мира, а лидерами является Россия (50,7 млрд.м³) и Нигерия (23,0 млрд.м³). По данным международного рейтинга Компании Air Visual, специализирующейся на мониторинге качества воздуха в странах мира, в 2018 году Узбекистан вошел в топ - 20 стран (16-ое место) с самым загрязненным воздухом. Поэтому сжигание попутного нефтяного газа является общепризнанной проблемой мира, в частности и Узбекистана. Проблема сжигания попутного нефтяного газа постоянно стоит на повестке дня экологических конференций под эгидой ООН. В частности, этот вопрос рассматривался на всемирной конференции по климату в Париже (COP 21) в 2015 году, в которой была принята программа «Zero Routine Flaring by 2030,» целью которой является прекращение непродуктивного сжигания попутного нефтяного газа до 2030 года», и Узбекистан поддержал данную программу. За последние годы в Узбекистане достигнут значительный прогресс в отношении утилизации попутных газов.

В настоящее время в Узбекистане реализуется три проекта, отличающиеся технологией утилизации попутного газа:

- компрессорным способом - на месторождении Кокдумалак и на месторождениях Мубарекской группы (Крук, Западный Крук, Южный Кемачи, Северный Уртабулак и Умид),
- путем изменения схемы разработки и состава технологического оборудования - на месторождениях Северный Шуртан и Шакарбулак [5-6].

Если до 2004 года на месторождениях Узбекистана попутный газ полностью сжигался на факелах, то на начало 2013 года достигнута утилизация до 75 %, а на начало 2018 года до 83 %.

За счет утилизации попутного газа на нефтегазоконденсатном месторождении Кокдумалак выброс вредных веществ в атмосферу сокращен на 37828,45 т в год (рисунок 1), Мубарекская группа месторождений – на 2053,3 т в год (рисунок 2), месторождение Шакарбулак – на 243,4 т в год (рисунки 1, 2).

Работы, проводимые в Узбекистане по утилизации попутного нефтяного газа и снижению выбросов вредных веществ в атмосферу, получили одобрение Партнерства по Глобальному сокращению сжигания факельного газа GGFR (Global Gaz Flaring Reduktion a Publik – Private Partnership).

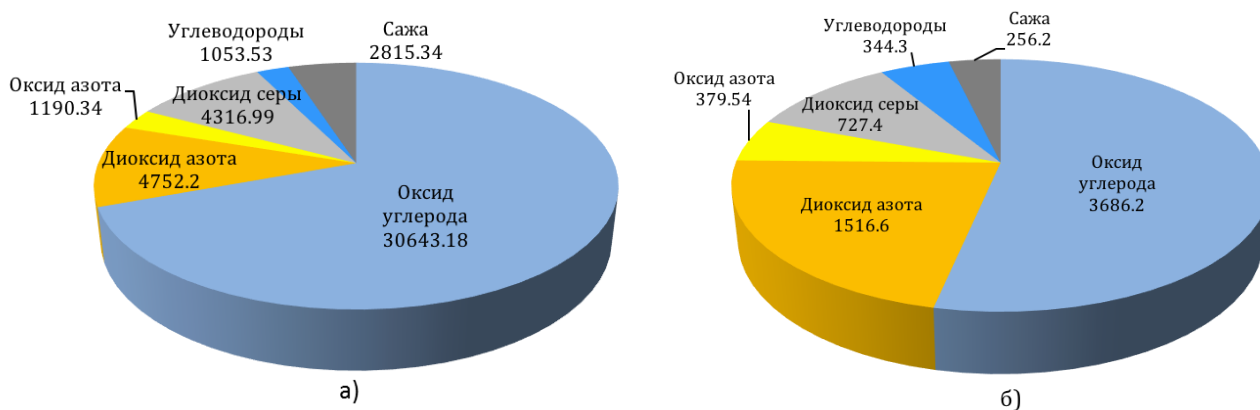


Рисунок 1 – Объемы годового выброса загрязняющих веществ в атмосферу на месторождении Кокдумалак до (а) и после (б) утилизации попутного газа (в тоннах).

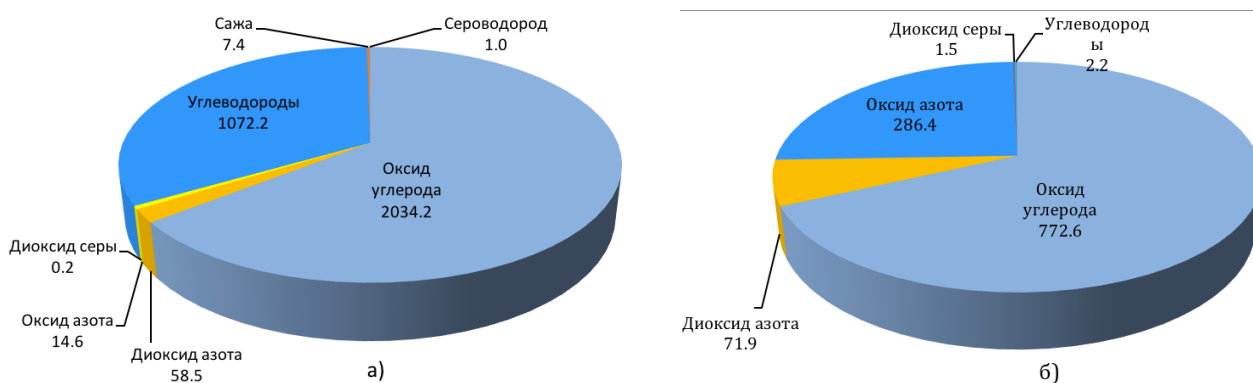


Рисунок 2 – Объемы годового выброса загрязняющих веществ в атмосферу на месторождениях Мубарекской группы до (а) и после (б) утилизации попутного газа (в тоннах).

Согласно оценке консультантов GGFR проектов по утилизации попутного газа к категории перспективных также были отнесены следующие объекты:

- утилизация попутных нефтяных газов месторождений Северный Шуртан, Гармистон, Шакарбулак, Кумчук и Головных сооружений «Шуртан» с объемом утилизации попутного газа 0,69 млрд. м³ в год,
- утилизация газов переработки на Мубарекском газоперерабатывающем заводе, с прогнозируемым объемом утилизации кислых газов до 0,7 млрд. м³ в год,
- утилизация попутных газов группы месторождений Арниез, Зеварды, Сардоб, Жейнов с объемом утилизируемого газа до 0,25 млрд. м³ в год.

В результате реализации всех вышеуказанных инвестиционных проектов планируется утилизацию попутных нефтяных газов в нефтегазовой отрасли Республики Узбекистан довести до 95 %.

Выводы

Таким образом можно заключить, что Узбекистан по степени утилизации попутного газа достиг уровня развитых нефтегазодобывающих стран мира и полностью выполняет обязательства, принятые перед международными организациями, в том числе партнерством по глобальному сохранению сжигания факельного газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ким А. А. Перспективы утилизации ПНГ // Газовая промышленность. Специальный выпуск, 2009. 37-38 с.

2. Мусаев М. Н, Ахмедова Х. А. Утилизация попутных нефтяных газов на особо важных объектах / Сб. трудов ТашГТУ, 2019. 107 с.
3. Тетельин В.В., Язев В. А. Геоэкология углеводородов. Долгопрудный: Интеллект, 2009. 304 с.
4. Апасов Г.Т., Апасов Т.К., Апасов Р.Т. и др. Комплексный способ воздействия на пласт с утилизацией попутного газа // Нефтепромысловое дело, № 6, 2013. 14 -19 с.
5. ТЭО «утилизация попутно-добываемых газов месторождения Кокдумалак». Ташкент: ООО «ТЕННОИНЖИНИРИНГ», 2013.
6. Каландаров П.И., Икрамов Г.И. Утилизация низконапорных газов на месторождениях Мубарекской группы // Узбекский журнал нефти и газа, № 4, 2010. 55-58 с.

УДК 687.023

**МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ
ХРОМОСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД
FUZZY CONTROL OF THE CLEANING PROCESS THE CHROMIUM WASTEWATER**

**Валентина Васильевна Сигачева
Valentina V. Sigacheva**

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Россия, Санкт-Петербург
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Russia, Saint Petersburg
(e-mail: sigacheva2006@mail.ru)*

Аннотация: Разработана модель нечеткого управления процессом восстановления шестивалентного хрома, повышающая робастность системы автоматизации установки очистки сточных вод, разработаны устройства, позволяющие реализовать модель нечеткого управления.

Abstract: A model of fuzzy control of the hexavalent chromium reduction process, which increases the robustness of the automation system of the wastewater treatment plant, developed devices that allow to implement the fuzzy control model.

Ключевые слова: Автоматизация, очистка, хромосодержащие сточные воды, робастность, модель, нечеткое управление, программируемый логический контроллер.

Keywords: Automation, purification, chromosomal wastewater, robustness, model, fuzzy control, programmable logic controller.

При содержании в сточных водах меховых фабрик и других предприятий высокотоксичных соединений шестивалентного хрома применяют методы восстановительной очистки [1]. Обработка сточных вод выполняется в 2 ступени: Вначале переводят шестивалентный хром в трехвалентную форму, затем осаждают трехвалентный хром в виде гидроксида. В качестве реагента – восстановителя можно использовать сульфит натрия (Na_2SO_3). Скорость и полнота восстановления хрома в значительной степени зависит от величины pH, рекомендуемая величина 2 – 2,5, что требует дополнительного подкисления сточных вод 10 – 15 % раствором серной кислоты. После восстановления сточные воды подвергают нейтрализации, при которой хром осаждается в виде нерастворимого осадка гидроксида хрома.

Для осаждения хрома используют установки непрерывного или периодического действия. Осаждение гидроксида хрома производят в вертикальных отстойниках периодического действия в течение 6-8 ч. Количество образующегося осадка составляет 45-50% .

Развитие систем управления техническими объектами и процессами идет по пути увеличения числа контролируемых и регулируемых параметров, совершенствования алгоритмов и программ управления. В системе автоматизации процесса очистки можно выделить блок контроля и управления общетехническими параметрами - температура, давление, расход, уровень и другие, для которых разработана современная микроконтроллерная надежная аппаратура. Второй блок образуют системы управления, функционирующие в условиях параметрической неопределенности, обусловленной отсутствием полной информации по некоторым технологическим параметрам, используемым для управления, а также изменением их характеристик в процессе производства. Системы, основанные на подобных принципах функционирования, требуют организации робастного управления, которая может быть основана на использовании различных подходов, в том числе нечеткого моделирования [2]. Указанное обстоятельство актуально при проектировании и модернизации систем управления на производствах, где схема ведения технологического процесса не является строго детерминированной, где требуется обеспечить лишь свойства выпускаемой продукции. Такая организация допустима для химических и экологических объектов.

Разработана модель нечеткого управления процессом восстановления шестивалентного хрома, повышающая робастность системы автоматизации.

Для восстановления шестивалентного хрома необходимо поддерживать определенные значения pH. На процесс восстановления значительное влияние оказывает концентрация хрома в сточных водах. Для создания необходимых условий в отстойнике, в него осуществляется подача подогретой воды из теплообменника, а также серной кислоты, для получения нужного для реакции уровня pH. Анализатор шестивалентного хрома и pH-метр обеспечивают оперативное слежение за состоянием процесса восстановления шестивалентного хрома, а программа нечеткого управления обеспечивает управление исполнительными механизмами подачи серной кислоты и дисульфита натрия. Одновременное взаимоувязанное управление параметрами процесса очистки на основе алгоритма и программы, разработанных в среде MATLAB Fuzzy Logic Toolbox, которая позволяет моделировать и редактировать fuzzy-системы управления с нечеткой логикой [2], существенно повышает точность управления. В качестве алгоритма нечеткого логического вывода используется алгоритм Мамдани. Для разработки системы нечеткого вывода в интерактивном режиме вызывается редактор систем нечеткого вывода FIS с помощью функции fuzzy. Тип алгоритма вывода – Мамдани – установлен по умолчанию.

Вводятся диапазоны изменения входных переменных: концентрация хрома (Kontsentratsiya Cr), pH – фактор; выходных – углов поворота исполнительных механизмов подачи в отстойник сульфита натрия ($Ugol(Na_2SO_3)$) и серной кислоты ($Ugol(H_2SO_4)$). Нечеткий логический вывод построен на использовании опыта экспертов, изучивших решаемую задачу, для разработки базы нечетких лингвистических правил типа: «Если..... то». Применение лингвистических (словесных) правил требует представления численных входных переменных в виде лингвистических переменных.

Поэтому при построении алгоритма обработки входных данных, формализации нечеткого вывода управляющих сигналов существенную роль играет фаззификация переменных (рис. 1).

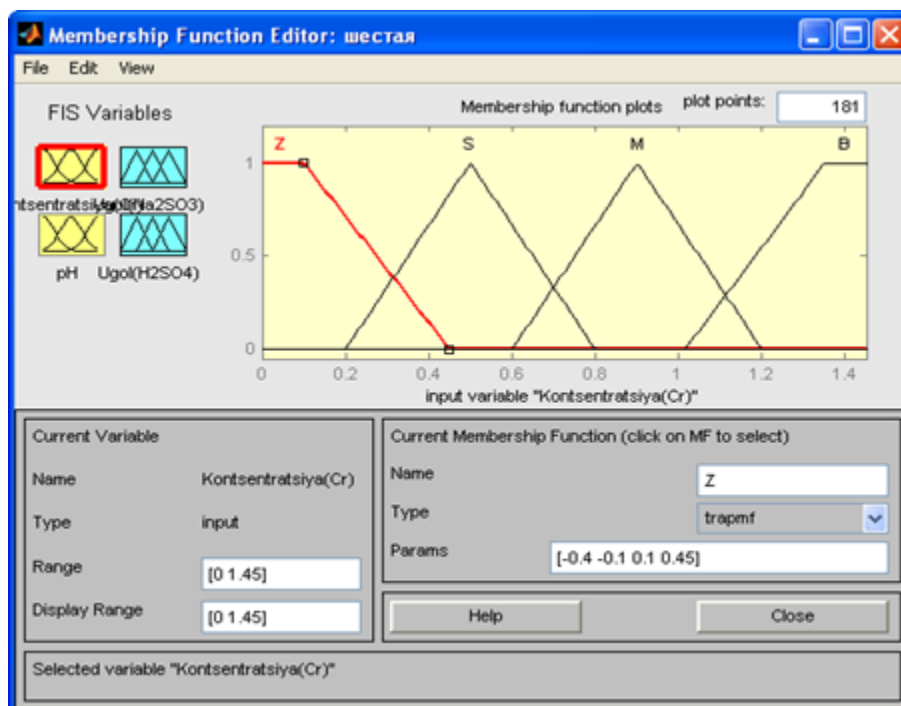


Рисунок 1 – Фаззификация входной переменной «Kontsentratsiya Cr» в редакторе FIS

Фаззификация устанавливает соответствие между конкретным численным значением отдельной переменной и значением функции принадлежности соответствующих ей термов лингвистических переменных. Используются кусочно – линейные функции принадлежности: трапецевидные – для крайних диапазонов переменной, треугольные – для среднего диапазона. Желательно, чтобы пересечение функций происходило посередине, что способствует более плавному процессу управления исполнительным механизмом.

После завершения этого этапа для всех входных переменных должны быть определены конкретные значения функций принадлежности по каждому из лингвистических термов, которые используются в подусловиях базы правил системы нечеткого вывода. После последовательной обработки в соответствии с алгоритмом Мамдани лингвистических термов в подусловиях базы правил осуществляется дефаззификация – процесс нахождения обычного численного значения для каждой из выходных лингвистических переменных – сигналов управления. Результат дефаззификации для каждой выходной лингвистической переменной определяется в форме действительного числа, получаемого одним из следующих методов: центра тяжести, центра площади или по методу левого и правого модального значения.

Вид зависимости угла поворота рабочего органа «Ugol(Na2SO3)» от входных переменных «Kontsentratsiya Cr» и «pH» представлена на рис.2.

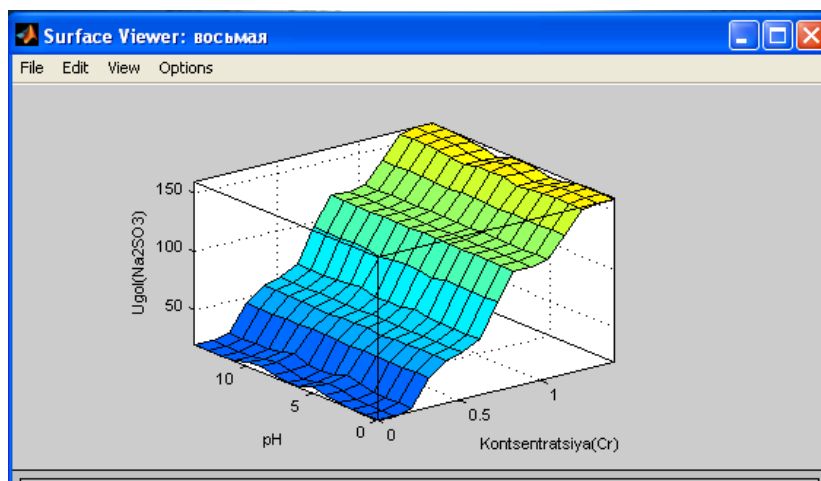


Рисунок 2 – Визуализация поверхности управления подачей дисульфита натрия в зависимости от концентрации хрома и кислотности среды обработки

Также получен процесс управления подачей серной кислоты.

Для реализации собственно процедуры нечеткого управления необходимо использовать соответствующие программные или аппаратные средства, специально предназначенные для выполнения этих этапов нечеткого вывода. Программируемый логический контроллер, обладает возможностью реализовать программу нечеткого вывода, записанную на языке нечеткого управления или языке FCL.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривошеин Д. А. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков. Учебное пособие. М.: Высшая школа, 2008. 344с.
2. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург, 2005. 352с.

УДК 629.039.58

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПОСРЕДСТВОМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ANALYSIS OF SAFETY PROBLEMS THROUGH IDENTIFICATION OF TECHNOGENIC IMPACTS

**Константин Васильевич Чернов
Konstantin V. Chernov**

*Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина,
Россия, Иваново
Ivanovo State Energy University named after V. I. Lenin, Russia, Ivanovo
(e-mail: chernov@bjd.ispu.ru)*

Аннотация: Раскрыто системнологическое понятие опасности. Приведено описание компьютерной идентификации техногенных воздействий в целях решения проблемы безопасности.

Abstract: The systemnological concept of danger is revealed. The following is the description of the computer identify technogenic impacts in order to address security concerns.

Ключевые слова: системнология, техногенная опасность, идентификация.

Keywords: systemnology, technogenic hazard, identification.

Системнология и понятие опасности. Ключевой аспект безопасности – это её проблемность. Область науки, предопределившая один из методов целостного, т.е. системного, исследования существующего, предстаёт системнологией. системнология – это совокупность научных теоретико-прикладных знаний о целостности отображения и осознания познаваемой реальности при её кодовой рефлексии. К родственным областям науки относятся: тектология, холизм, гештальт-подход, общая теория систем, кибернетика, системотехника, системный подход, системнология, ценология, системный анализ [1].

Эволюция реальности нацелена на её усложнение и достижение совершенства. Преобразование существующего приводит к возникновению техноантропной составляющей реальности, совершенствование которой происходит техногенно. Функция техногенеза – создание технетических формообразований, при использовании которых замещаются приспособительные и усиливаются созидательные способности человека. Формообразования техноантропной составляющей реальности предстают техническими изделиями, устройствами и сооружениями. Осознаваемое при кодовой рефлексии отображение познаваемой техноантропной составляющей реальности, обособленное в соответствии с её целью и разделяющееся на технетические, антропные и иные компоненты, которые посредством отношений соединяются в целое, связанное с внешней средой, представляет собой техногенную систему. Система с данным определением отображает собой то, что существует и на что направлено познание, кроме того, она формируется как внутриантропное осознаваемое отображение познаваемой реальности при кодовой рефлексии.

Компонент – слагаемое системы, которое отображает осознаваемое при кодовой рефлексии формообразование познаваемой реальности или его часть, обособляется в соответствии с функцией и может, в свою очередь, подразделяться на слагаемые, соединяемые в единое посредством отношений. Внешняя среда – слагаемое системы, которое отображает осознаваемое при кодовой рефлексии внешнее окружение познаваемой реальности и подразделяется на слагаемые, влияющие на познаваемую реальность или находящиеся под её влиянием. Отношения в системе – осознаваемое при кодовой рефлексии отображение взаимовлияния формообразований познаваемой реальности и их частей. Отношения охватывают собой связи взаимодействия и связи наследования. Связи взаимодействия являются отношениями между компонентами системы в данный момент времени. Связи наследования предстают отношениями, обуславливающими неизменность компонентов во времени. Неизменность компонента обеспечивается его внутренней изменчивостью и изменчивостью компонентов, с которыми он находится во взаимодействии. Данное обстоятельство позволяет связи наследования тождественно заменять процессами. Процесс – это изменение свойств компонента или взаимодействия компонентов системы во времени. Постоянство состояния компонентов во времени обеспечивается консервативными процессами. Процессы, приводящие к изменению состояния компонентов, относятся к неконсервативным. Кратковременная часть процесса, протекающая относительно быстро, является событием. Отношения в системнологии, в сравнении с другими методами системного подхода, наделяются определённым содержанием и подразделяются на детерминированные (предопределённые) и стохастические (предполагаемые). Неконсервативные процессы взаимодействия компонентов приводят к изменениям внутри них, т.е. к эффектам взаимодействия.

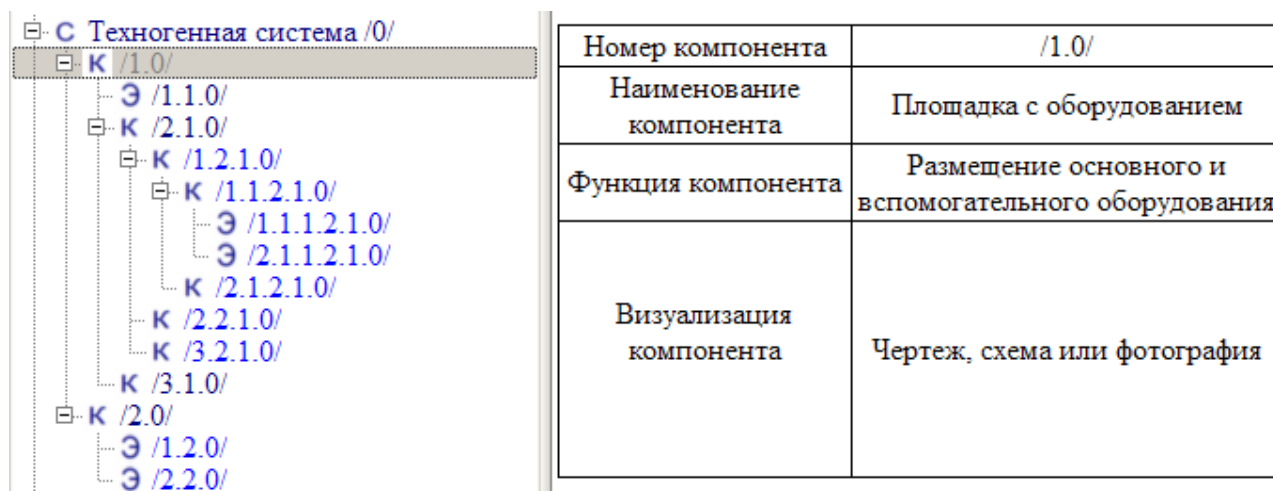
Техногенная система предназначается для производства продукции и содержит в себе антропные, технетические, абиотические и иные компоненты, а также внешнюю среду. Центральными компонентами техногенной системы при решении проблемы безопасности становятся антропные и технетические компоненты. Главными отношениями в системе относительно центральных компонентов являются взаимодействие антропных и технетических компонентов, т.е. антропотехнетическое взаимодействие, технетические процессы и процессы взаимодействия. Эффекты взаимодействия влияют на исполнение компонентами своей функции. Антропотехнетическое взаимодействие с уровнем, при небольшом отклонении от которого внутри антропного компонента техногенной системы

возникают эффекты, создающие предпосылки для возникновения болезней или травм, называется критическим. **Техногенная опасность** – это детерминированное или стохастическое антропотехнетическое взаимодействие послекритического уровня.

Техногенные воздействия. Антропотехнетическое взаимодействие имеет вещественное, энергетическое, сциентное содержание. Взаимодействие антропоного и технетического компонентов считается вещественным, если оно сопровождается передачей вещества. Антропотехнетическое взаимодействие является энергетическим, если оно сопровождается переносом энергии. Взаимодействие относится к сциентным, если оно сопровождается рецепцией вещественно-энергетических знаков, которые подвергаются кодовым преобразованиям внутри антропоных компонентов и обуславливает поведение человека и его деятельность.

Вещественно-энергетическое антропотехнетическое взаимодействие предстаёт воздействием антропоного компонента на технетический и воздействием технетического компонента на антропоный. Вещественно-энергетическое воздействие технетического компонента на антропоный называется техногенным. Техногенное воздействие может быть непосредственным или опосредованным. Технетический компонент является источником техногенного воздействия, а антропоный – приёмником. Кроме того, в опосредованном воздействии участвуют компоненты-посредники, передающие вещество или энергию от источника к приёмнику. Стохастическое техногенное событие называется техногенным происшествием. Пребывание приёмника под воздействием приводит или может приводить к эффектам техногенного воздействия. Задача обнаружения техногенных опасностей решается посредством идентификации техногенных воздействий и выражения идентифицированного воздействия количественным показателем.

Идентификация техногенных воздействий. Компьютерная идентификация предваряется нахождением компонентного состава техногенной системы (рис.1). Каждый компонент при системнологической идентификации получает описание с указанием его наименования и функции (рисунок 1).



С – система, К – компонент, Э – элемент

Рисунок 1 – Состав техногенной системы и описание компонента техногенной системы

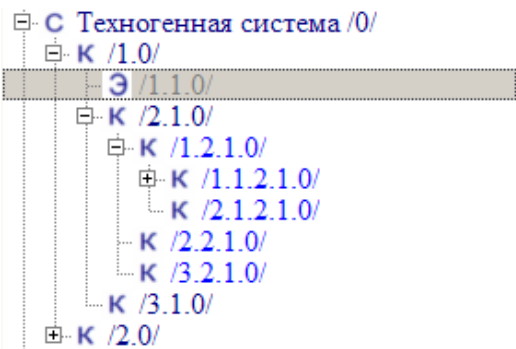
Идентификация детерминированного техногенного воздействия состоит в отождествлении названия разновидности вещества или энергии, которой обладают элементарные компоненты, с наименованием воздействия и его показателями. При идентификации стохастического воздействия указывается также техногенное происшествие.

Технетические вещества имеют тривиальное название или название, соответствующее правилам химической номенклатуры. номенклатурное название создаётся по правилам научной систематики. Технетические вещества входят в состав материала компонента или в

состав массива газов, жидкостей и дисперсий. Технетическая энергия предстаёт энергией технетических материалов и массивов, а также энергией технетических компонентов. Для разных видов энергии отсутствует общепринятая система обозначений, поэтому применяются тривиальные и традиционные названия. Примеры наименования разновидностей технетической энергии следующие:

1. Термодинамическая энергия – внутренняя энергия массива газа или жидкости, характеризующаяся повышенными (или пониженными) значениями температуры и давления.
2. Вибрационная энергия – механическая энергия малых по амплитуде колебаний, распространяющихся в упругом материале посредством волн.
3. Энергия дефлаграции – энергия горения технетических веществ и др.

Предшествующее идентификации описание элементарных компонентов техногенной системы, обладающих разновидностями вещества и энергии, которые создают или могут создавать воздействия, имеет в компьютерной программе следующий вид (рис.2):



| Номер элемента | /Э1.1.0/ |
|--|--|
| Наименование элемента | Воздушный массив над площадкой |
| Разновидности веществ и энергии, обуславливающие техногенное воздействие | Минеральное масло (П, Ас) / тепловая энергия (Ас) / электромагнитная неионизирующая энергия (Тран) / звуковая энергия (Тран) / инфракрасная энергия (Тран) |

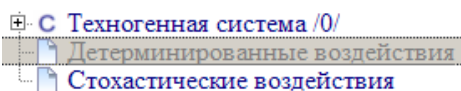
П – паровая фаза; Тран – транзит в элементе; Ас – аккумуляция в элементе

Рисунок 2 – Разновидности вещества и энергии, обуславливающие техногенные воздействия

Основываясь на данных (рис.2), с учётом классификации и правил именования техногенных воздействий можно прийти к следующим заключениям:

- частицы масла воздушного массива /1.1.0/ участвуют в ингаляционном воздействии;
- тепловая энергия воздушного массива /1.1.0/ создаёт тепловое воздействие и т.д.

Пример результатов идентификации детерминированных техногенных воздействии представлен на рисунке 3.



| Вещество или энергия | Наименование воздействия | Источники воздействия | Показатели воздействия |
|---------------------------|--------------------------|-----------------------|---|
| Минеральное масло (П, Ас) | Ингаляционное | 1.1.0 | Концентрация масла во вдыхаемом воздухе |
| Тепловая энергия (Ас) | Тепловое | 1.1.0 | Температура, скорость и влажность воздуха |

Рисунок 3 – Результаты идентификации детерминированных техногенных воздействий

Название одного из идентифицированных детерминированных воздействий принимает следующий вид: «Ингаляционное воздействие паров минерального масла».

Значение показателя идентифицированного техногенного воздействия подлежит вычислению или измерению для сопоставления с предельно допустимым значением. Сопоставление позволяет относить воздействие к опасным или неопасным

Выводы. Безопасность становится проблемой, требующей правильного решения, если в техногенной системе происходят события и происшествия, начинающие процессы, которые приводят или могут приводить к антропогенным взаимодействиям послекритического уровня. Проблема безопасности находит своё решение, если антропогенное взаимодействие поддерживается на докритическом уровне или создаётся защита от послекритического взаимодействия. Системно-логическая идентификация техногенных воздействий способствует решению задачи обнаружения техногенных опасностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов К. В. Системология безопасности: научное издание / «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина». – Иваново: 2011. 196 с.

УДК 66.011

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СНИЖЕНИЯ ШУМА РЕЗИНООПЛОТОЧНЫХ МАШИН ТИПА ОРН-1 ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ EFFICIENCY OF REDUCING THE NOISE OF RUBBER BANDING MACHINES OF TYPE ORN-1 BY SOUND-ABSORBING CONSTRUCTIONS

**Елена Сергеевна Бородина, Олег Иванович Седяров, Олег Савельевич Кочетов,
Александр Р. Тягунов
Elena S. Borodina, Oleg I. Sedlyarov, Oleg S. Kochetov, Alexander R. Tyagunov**

*Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: o_kochetov@mail.ru, borodina-es@rguk.ru)*

Аннотация: Авторами разработана программа расчета уровней звукового давления в среде «Excel» для производственного помещения резинооплеточного цеха АООТ «Московская чулочная фабрика им. Н. Э. Баумана». Исходными данными для расчета послужили замеры уровней звукового давления на рабочих местах до акустической обработки помещения. Замеры акустических характеристик проводились в цехе согласно требованиям ГОСТ с помощью аппаратуры фирмы Брюль и Кьер (Дания) при режиме работы веретен – 9000 об/мин. Авторами разработаны звукопоглощающие конструкции.

Abstract: The authors developed a program for calculating sound pressure levels in the Excel environment for the production room of the rubber-braid workshop of Moscow A Hosiery Factory named after N.E. Bauman. The initial data for the calculation were measurements of sound pressure levels at workplaces before acoustic treatment of the room. Acoustic characteristics were measured in the workshop according to the requirements of normative documentation using equipment from Bruhl and Kjepr (Denmark) with a spindle operating mode of 9000 rpm. The authors developed sound-absorbing structures.

Ключевые слова: звукопоглощение, снижение шума, звукопоглощающие конструкции
Keywords: sound absorption, noise reduction, sound-absorbing structures

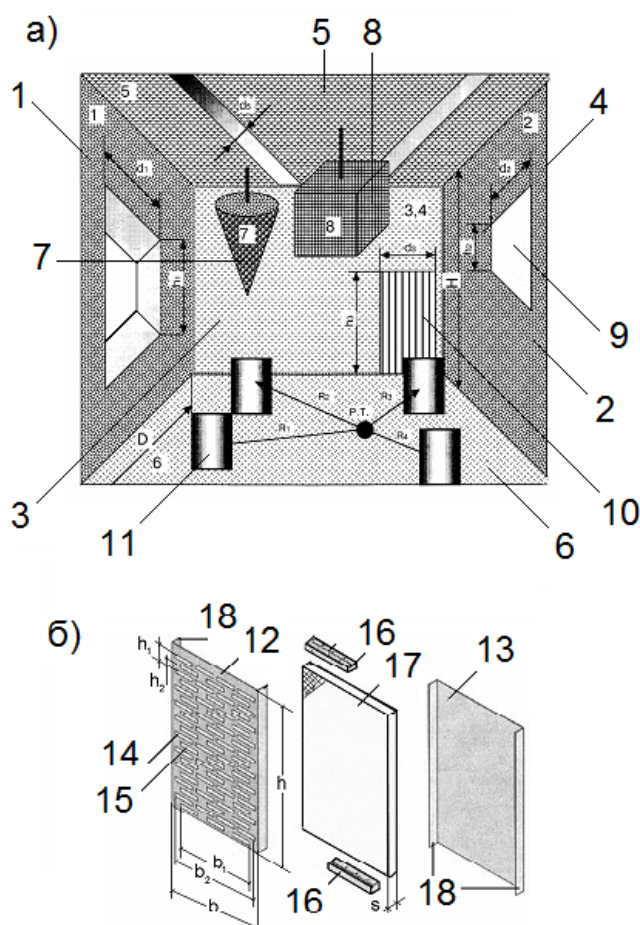
Автором разработана программа расчета уровней звукового давления по этому методу на ПЭВМ в среде «Excel» [1]. Расчет выполнен для производственного помещения резинооплеточного цеха АООТ «Московская чулочная фабрика им. Н.Э.Баумана», имеющего размеры: $D \times W \times H$ (длина, ширина, высота цеха) = $11,75 \times 5,75 \times 2,7$ (м), в котором установлены 3 резинооплеточные машины типа ОРН-1 с габаритными размерами: длина $l_{\max} = 4,2$ м; ширина $l = 0,6$ м; высота $h = 1,8$ м. Для определения уровней звукового давления на рабочих местах до акустической обработки помещения – L_1 , дБ, проводились замеры

акустических характеристик в цехе согласно требованиям ГОСТ 12.1.028-80 с помощью аппаратуры фирмы Брюль и Кьер (Дания): микрофон 4131, шумомер 2203, октавные фильтры 1613 при режиме работы веретен – 9000 об/мин.

Исходными данными для расчета являются:

L_1 – уровни звукового давления на рабочих местах до акустической обработки помещения, дБ, $S_{\text{опр}} = 12 \text{ м}^2$ – площадь оконных и дверных проемов в цехе, $S_{\text{огр}} = 229,6 \text{ м}^2$ – площадь ограждающих поверхностей цеха, $S_{\text{обл}} = 150 \text{ м}^2$ – площадь звукопоглощающей облицовки стен и потолка, $q = 0,044 \text{ шт/м}^2$ – плотность установки станков, $N_{\text{общ}}$ – общее число станков в цехе, $N_{\text{пр}}$ – число простаивающих станков (находящихся в капитальном ремонте или простаивающих по причине отсутствия сырья).

На рисунке 1 представлена схема акустической конструкции для снижения шума производственного помещения [1, 2]. Она включает в себя каркас цеха (рис.1а), оконные 9 и дверные 10 проемы и акустические ограждения 1,2,3,4,5,6 в виде жестких и перфорированных стенок, между которыми расположен звукопоглощающий материал, а также штучные звукопоглотители 7 и 8, установленные над шумным оборудованием 11.



а) – общий вид, б) - акустические шумопоглощающие панели.

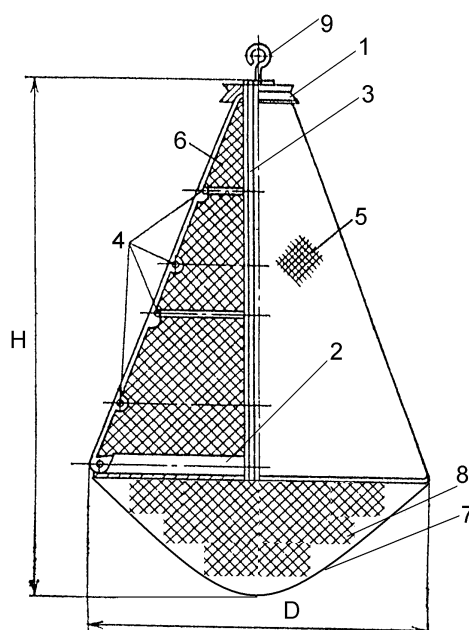
Рисунок 1 – Схема акустической конструкции для снижения шума производственного помещения.

Оборудование 11 установлено на виброизолирующие опоры, а оконные проемы 9 содержат вакуумные звукоизолирующие стеклопакеты, при этом акустические ограждения выполнены в виде собранных в секции акустических шумопоглощающих панелей (рис.1б).

Акустические шумопоглощающие панели состоят из каркаса, который выполнен в виде параллелепипеда, образованного передней и задней 13 стенками панели, каждая из которых имеет П-образную форму, причем на передней стенке имеется щелевая перфорация

14 и 15, коэффициент перфорации которой принимается равным или более 0,25, а стенки панели фиксируются между собой вибродемпфирующими крышками 16, а в качестве звукопоглощающего материала звукопоглощающего элемента 17 используются плиты из минеральной ваты на базальтовой основе типа «Rockwool», или минеральной ваты типа «URSA».

Боковые ребра 18 увеличивают жесткость ограждения в целом. Звуковая энергия от оборудования 11, находящегося в помещении, пройдя через перфорированную стенку 12 ограждений 1,2,3,4,5,6 попадает на слои звукопоглощающего материала 17 (который может быть как мягким, например из базальтового или стеклянного волокна, так и жестким, например камня-ракушечника). На рис.2 представлена схема конического штучного звукопоглотителя. Конический штучный звукопоглотитель [3,4] состоит из жесткого каркаса, образованного фланцами 1 и 2, стянутыми стяжкой 3 и прикрепленными к каркасу кольцами 4. Каркас подвешивается за крючья 4 на тросах либо непосредственно крепится к потолку производственного здания. Внутри каркаса расположен звукопоглощающий материал 6, обернутый сетчатой капроновой тканью 5 или стеклотканью.



Риснок 2 – Конический штучный звукопоглотитель.

В некоторых случаях поверх стеклоткани 5 к каркасу может быть прикреплен просечно-вытяжной стальной лист (на чертеже не показан). К нижнему фланцу 2 каркаса прикреплена полусфера или часть сферы 7 также содержащая звукопоглощающий материал, обернутый сетчатой капроновой тканью или стеклотканью, причем заполнение звукопоглощающим материалом может быть как с воздушными полостями 8, расположенными на периферии полусферы, так и внутри ее в шахматном порядке по трем координатным плоскостям. Отношение высоты поглотителя к его диаметру $H:D$ лежит в оптимальном интервале величин $H:D = 2:1 \dots 2:0,5$. Каркас 1 подвешивается за крючья 9. При подвешивании должны соблюдаться оптимальные соотношения размеров: b – от центра каркаса до точки подвеса к потолку и m – расстояние между осями соседних каркасов, причем отношение этих размеров должно находиться в оптимальном интервале величин: $b:m = 1:1 \dots 4:1$.

При проведении расчетов на ПЭВМ исследовалась возможность применения (конструктивного размещения) и эффективность снижения шума по вышеизложенному методу с помощью облицовочных звукопоглощающих конструкций (стены и потолки, колонны) отдельно или в совокупности со штучными звукопоглощающими конструкциями

на примере производственного помещения АООТ «Московская чулочная фабрика им. Н. Э. Баумана». При расчете по ориентировочному методу (с учетом плотности установки оборудования q , шт/м²) величины $\alpha_{\text{обл}}$ и $A_{\text{шт}}$ входят как составные части в величину площади ΔA дополнительного звукопоглощения в цехе. Для рассматриваемых условий размещения оконных и дверных проемов и оборудования (три станка модели ОРН-1) в цехе величина $S_{\text{обл}}$ является постоянной и максимальной (технически достижимой). Была исследована возможность как раздельного применения в цехе этих конструкций, так и совместного. Работа проводилась в три этапа.

Первый этап исследования заключался в возможности применения в качестве средств снижения шума только облицовочных звукопоглощающих конструкций, т.е. без применения штучных подвесных звукопоглотителей ($N_{\text{шт}} = 0$), причем при расчетах варьировались акустические характеристики ($\alpha_{\text{обл}}$) различных конструкций звукопоглощающих облицовок. Из результатов расчета можно сделать вывод о том, что при равных условиях размещения в цехе, наиболее эффективными являются облицовки № 11 и № 25 (см.табл.42 [1]), при этом рассматриваемая акустическая конструкция имеет более высокую эффективность в широком спектре частот на 2...3 дБ.

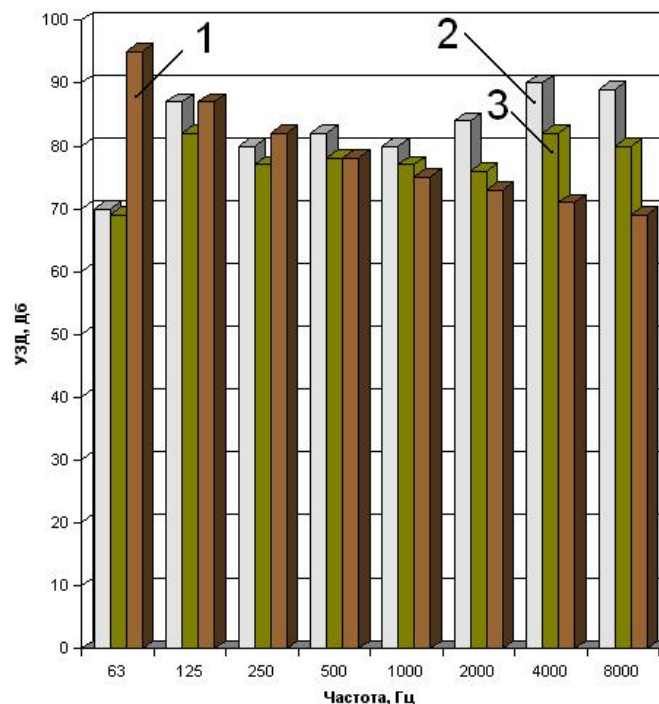
Второй этап исследования заключался в возможности применения в качестве средств снижения шума только штучных подвесных звукопоглотителей, т.е. без применения облицовок ($\alpha_{\text{обл}} = 0$), причем при расчетах варьировались как акустические параметры известных штучных звукопоглотителей [1], так и их количество $N_{\text{шт}}$.

Анализируя результаты расчетов на ПЭВМ можно сделать вывод о том, что применение некоторых конструкций штучных звукопоглотителей в небольшом количестве еще не приводит к снижению шума в цехе, и наоборот чрезмерное их увеличение с какого-то числа (оптimuma) уже не приводит к дальнейшему снижению шума. Так, например использование конструкции №17, в количестве $N_{\text{шт}} = 6$ – не приводит к снижению шума в цехе, а в количестве $N_{\text{шт}} = 24$ шт – приводит к снижению шума в полосе частот 250...8000 Гц на 4...6 дБ. Применение предлагаемой конструкции штучного звукопоглотителя приводит к снижению шума в широкой полосе частот на 6...8 дБ.

Третий этап исследования заключался в возможности применения в качестве средств снижения шума комбинированного варианта, т.е. совместного применения штучных подвесных звукопоглотителей и звукопоглощающих облицовок, причем при расчетах варьировались как акустические параметры штучных звукопоглотителей, так и их количество $N_{\text{шт}}$.

Анализируя результаты расчетов на ПЭВМ можно сделать вывод о том, что при использовании предлагаемых звукопоглощающих конструкций существенно снижается величина L_2 , причем при увеличении $N_{\text{пр}}$ (уменьшении количества работающих станков в цехе) можно подобрать такое сочетание параметров облицовки и штучных поглотителей, что уровни звукового давления на рабочем месте будут соответствовать допустимым санитарно-гигиеническим нормам.

На рисунке 3 приведены уровни звукового давления, измеренные на рабочих местах исследуемого в машинном эксперименте на ПЭВМ производственного помещения. Эффективность снижения шума с использованием разработанных звукопоглощающих конструкций составляет порядка 2...10 дБ в широком спектре частот. Экспериментальная проверка результатов расчета подтвердила регламентированную погрешность ориентировочного метода, которая находится в пределах 2 дБ.



1 – санитарно-гигиенические нормативы, 2 – уровни звукового давления, дБ, акустически не обработанного помещения, 3 – уровни звукового давления, дБ, с использованием разработанных звукопоглощающих конструкций.

Рисунок 3 – Уровни звукового давления, дБ, измеренные на рабочих местах исследуемого производственного помещения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сажин Б.С., Кочетов О.С. Снижение шума и вибраций в производстве: Теория, расчет, технические решения. – М., 2001. – 319с.
2. Кочетов О.С. Акустическая конструкция для производственных помещений. /Патент РФ № 2366785, Б.И. № 25 от 10.09.2009г.
3. Кочетов О.С. Конический штучный звукопоглотитель. /Патент РФ № 2282004, Б.И. №23 от 20.08.2006г.
4. Гетия И.Г., Леонтьева И.Н., Кочетов О.С. Звукоизолирующие ограждения для производственного оборудования // М.: МГУПИ, «Вестник МГУПИ», серия «Машиностроение», № 45, 2013. С.63-71.

УДК 355.469:358.4

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ
РАЗНОРОДНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИЛ ПО ТУШЕНИЮ МАССОВОГО ПОЖАРА
METHODICAL APPROACH FOR VALUATION THE POSSIBILITY OF COMBINED
AVIATION FORCE APPLICATION IN PUTTING OUT EXTENSIVE FIRE**

**Евгений Александрович Ворожейкин, Виталий Олегович Щекунских
Evgeny A. Vorozgeykin, Vitaly O. Shchekunsky**

*ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Россия, Воронеж
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy», Russia, Voronezh
(e-mail: evgeny.vorojeickin@yandex.ru, shchekunskixvo@mail.ru)*

Аннотация: Разработаны предложения по методическому обеспечению оценки возможностей авиационных комплексов в составе разнородных авиационных сил при обеспечении передвижения различных формирований (совершении марша общевойсковой соединения и (или) отряда (группы) специального назначения (например, для организации мероприятий и действий в удаленной зоне (районе) массового пожара, в районе катастрофы, аварии на особо опасных объектах) в прогнозируемых условиях техногенных катастроф регионального масштаба. В рамках предлагаемого методического подхода осуществлен учет информационного и технического взаимодействия различных авиационных сил (подразделений и групп) с группами обеспечения передвижения (совершения марша) формирований и приводятся аналитические выражения для оценивания их совместных возможностей по пространственным, временным и вероятностным показателям.

Abstract: The article gives proposals for methodical support for valuation the possibility of combined aviation force application in march securing (combined armed force formation and/or commando team (group) (for example: for securing the procedures in isolated zone of extensive fire, in the area of industrial accident/catastrophe at especially dangerous technical units) in predicted conditions of regional industrial catastrophes.

The account of informational and technical cooperation of different air units (subunits & groups) with the march securing groups of combined arms formations within the limits of proposed methodical approach, as well as analytical quotations for dimensional, time-scale and probabilistic indexes of combined capabilities are presented in the article.

Ключевые слова: возможность, авиационный комплекс, разнородное авиационное подразделение, показатель.

Keywords: possibility, aerial complex, combined air-subunit, index.

Важность и необходимость своевременного тушения пожара, оперативной локализации зоны массового пожара, качественного и безопасного осуществления проходов через районы массового пожара возникает в различные периоды, как в мирное, так и в военное время. Это связано как с возникновением различных техногенных катастроф, так и с развитием перспективных зажигательных средств и способов их доставки к объектам, а также с имеющимся опытом применения боеприпасов по критически важным объектам и территориям. Необходимо особо отметить, кратное увеличение количества специализированных зажигательных средств (боеприпасов) в арсенале основных иностранных государств, развитых в военно-экономическом отношении [1].

Для выполнения задачи обеспечения марша различных формирований (перемещения подразделений в районы предназначения, удаленных от основного района на значительное расстояние – более 300 км) в прогнозируемых условиях возникновения (создания) зон массовых пожаров на маршруте, создается разнородное авиационное подразделение, с непосредственным подчинением определенному (назначенному) должностному лицу. В мирное время это руководитель (должностное лицо) МЧС области (региона), в военное время

это командующий войсками военного округа (территориального гарнизона) Минобороны России. В период военного времени разнородное авиационное подразделение будет сформировано на базе части (подразделения) Военно-транспортной авиации (ВТА) с оперативным приданием в его состав авиационных подразделений (комплексов) Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

Таким образом, в военное время руководство данным разнородным авиационным подразделением (частью) будет осуществлять авиационный командир ВТА.

При принятии решения на применения сил разнородного авиационного подразделения (АП) при обеспечении марша различных формирований (далее войскового формирования ВФ)) в условиях прогнозируемых зон массовых пожаров и других техногенных факторов авиационному командиру потребуется определить возможности подчиненных сил по выполнению поставленной задачи. Вполне естественно, что для сокращения времени оценки возможностей разнородного АП командиру необходим методический аппарат, определяющий количественные показатели применения подчиненных авиационных групп (комплексов).

Для оценки возможностей разнородных авиационных сил при решении задачи обеспечения марша воинских формирований предложено принять за основу методику оценки боевых возможностей ВТА Минобороны России.

Под боевыми возможностями частей и подразделений ВТА (полка, отряда) понимают количественные и качественные показатели, характеризующие возможности подразделений и частей ВТА выполнять поставленные задачи в установленное время в конкретных условиях обстановки [2].

Применительно к решению задачи обеспечения марша воинского формирования силами авиационных комплексов возможности сил и средств разнородного авиационного подразделения можно описать множеством: $\{\Delta^{ВТА}, T^{ВТА}, P^{ВТА}\}$. В котором представлены пространственные показатели ($\Delta^{ВТА}$), временные показатели ($T^{ВТА}$), вероятностные показатели ($P^{ВТА}$).

Пространственные показатели характеризуются областью воздушного пространства, в котором авиационный комплекс (подразделение) может выполнять поставленные задачи. Пространственные показатели возможностей сил и средств ВТА можно описать как совокупность:

$$\Delta^{ВТА} = \{R^{ВТА}, O^{ВТА}, U^{ВТА}\}, \quad (1)$$

где $R^{ВТА}$ – множество тактических рубежей; $O^{ВТА}$ – множество тактических областей; $U^{ВТА}$ – множество параметров, характеризующих возможности по управлению и наведению авиационного комплекса.

Тактические рубежи определяются в предположении, что возникновению очагов пожара (воздействие противника) ожидается на всем маршруте совершения марша, и отсчитываются от аэродрома базирования авиационных комплексов до района сосредоточения формирования после окончания марша.

Тактические рубежи можно определить как:

$$R^{ВТА} = \{R^T, R^{ББЗ}, R^{ПАК}, R^{ПГ1}\}, \quad (2)$$

где R^T – рубеж максимальной досягаемости района выполнения задачи из условий посадки на аэродроме вылета с гарантийным остатком топлива; $R^{ББЗ}$ – рубеж максимальной досягаемости района выполнения задачи из условий посадки на заданном аэродроме; $R^{ПАК}$ – рубеж подъема авиационных комплексов на выполнение задачи пожаротушения; $R^{ПГ1}$ – рубеж перевода авиационных комплексов в готовность № 1 для выполнения задачи пожаротушения.

За исходный рубеж для определения всех тактических рубежей принимается рубеж максимальной досягаемости района выполнения боевой задачи из условий посадки на аэродроме вылета с гарантийным остатком топлива.

Рубеж подъема авиационных комплексов на выполнение задачи пожаротушения $R^{ПАК}$ – это рубеж, на котором находится воинское формирование от зоны массового пожара в момент подачи команды на вылет.

Рубеж перевода авиационных комплексов в готовность № 1 для выполнения задачи пожаротушения $R^{ПГ1}$ – это рубеж, на котором находится воинское формирование от зоны массового пожара в момент подачи авиационным комплексам команды на выполнение мероприятий по готовности № 1 (степень готовности экипажа и степень выполнения комплекса работ техническим персоналом по подготовке самолета к вылету).

Тактические рубежи позволяют обоснованно управлять авиационными комплексами. Так, при подходе воинского формирования к рубежам перевода в готовность № 1 $R^{ПГ1}$ и подъема авиационных комплексов $R^{ПАК}$ подаются и выполняются соответствующие команды на выполнение задачи.

При учете действий авиации противника и создание очагов пожаров в стороне от маршрута движения сухопутных подразделений тактические рубежи не могут быть достаточно объективными показателями пространственных возможностей. В этих случаях более корректными показателями являются тактические области, которые описываются как:

$$O^{BTA} = \{O^{BM}, O^{BB}\}, \quad (3)$$

где O^{BM} – область возможных маршрутов при выполнении задачи пожаротушения; O^{BB} – область боевого воздействия авиационными комплексами противника при создании им зоны массовых пожаров.

Область боевого воздействия O^{BB} – пространство вокруг аэродрома постоянного базирования и маневра, в пределах которого авиационные комплексы могут выполнять задачи по предназначению.

Область боевого воздействия строится с использованием графо-аналитического метода [4] на основе учета ряда факторов. Информации о радиусах маневрирования авиационных комплексов, рассчитанных для ожидаемых условий предстоящих действий; места (координат) расположения аэродрома базирования; состава групп обеспечения марша; сроках готовности авиационных комплексов; способах действий при тушении пожаров.

При базировании авиационного подразделения разнородных сил на одном (основном) или двух близко расположенных аэродромах (основном и рассредоточения), область боевого воздействия представляет собой окружность с радиусом маневрирования равным половине дальности маневрирования относительно аэродрома взлета при посадке авиационного комплекса на аэродроме взлета.

Если авиационному подразделению ставится задача воздействия на объект на максимальной дальности с использованием аэродрома маневра, то область боевого воздействия в горизонтальной плоскости ограничивается эллипсом, фокусами которого являются аэродромы взлета и маневра, а фокальным расстоянием – расстояние (база) между данными аэродромами.

Возможности по управлению U^{BTA} характеризуются пространством (кинематическим полем P_k), в котором группы обеспечения марша могут получать информацию о создании и распространении массового пожара, пригодную для наведения, и передавать на борт авиационных комплексов команды, формирующие траекторию (поле наведения) группы тушения при тушении массового пожара (или создании безопасного прохода в зоне МП).

Временные показатели возможностей разнородного подразделения (T^{BTA}) характеризуют динамику действий и организацию управления авиационными комплексами:

Временные показатели возможностей сил и средств разнородного авиационного подразделения можно описать как совокупность двух показателей: времени мобильности авиационных комплексов (T^{mob}) и напряжении боевых действий (E^{BD}).

Количественным показателем мобильности является продолжительность выполнения задачи (от момента получения задачи до посадки крайнего авиационного комплекса после ее

выполнения), то есть время, потребное на подготовку к выполнению задачи ($T^{\text{подг}}$) и выполнение полета ($T^{\text{БЗ}}$).

Возможности сил разнородного авиационного подразделения по интенсивности ведения ими действий характеризуются напряжением, которое устанавливается вышестоящим командиром (начальником) при постановке задачи на боевые действия, с учетом характера и условий ее выполнения, летного ресурса, состава, времени суток, возможностей инженерно-авиационного и тылового обеспечения. С учетом этих факторов нормальным напряжением для разнородного авиационного подразделения следует считать два вылета в сутки. В отдельных случаях при недостаточном наряде сил, привлекаемых для решения поставленной задачи, и, как правило, при выполнении повторных вылетов в тот же район действий, возможно увеличение напряжения до трех и более вылетов в сутки. При этом повышение интенсивности действий возможно за счет сокращения сроков подготовки к выполнению задачи и создания резерва летных и технических экипажей.

Вероятностные показатели возможностей авиационных комплексов разнородного подразделения ($P^{\text{ВТА}}$) включают два показателя: математическое ожидание числа экипажей авиационных комплексов успешно выполнивших задачу в течение заданного периода действий ($m^{\text{ЭК}}$) и потребный наряд авиационных комплексов для тушения пожара с заданной вероятностью P ($N^{\text{ВТА}}$).

Таким образом, предлагаемый методический подход к оценке возможностей сил и средств разнородного авиационного подразделения при решении задачи обеспечения марша воинских формирований в условиях массовых пожаров состоит в последовательном проведении расчетов представленных выше показателей.

Оценка возможностей сил и средств разнородного авиационного подразделения является составным элементом оценки обстановки в районе совершения марша, на основании которой командир принимает решение на действия, выбирает порядок и приемы применения авиационных комплексов.

Выводы

Разработанный методический подход оценки возможностей сил и средств разнородного авиационного подразделения при решении задачи обеспечения марша воинского формирования в условиях массовых пожаров:

- позволяет оценить возможности разнородного авиационного подразделения по пространственным, временным и вероятностным показателям;
- всесторонне и обоснованно сформировать заключение о реальных возможностях используемых сил и средств разнородного авиационного подразделения при решении обозначенной задачи в конкретных условиях обстановки;
- выдать практические рекомендации по расчету потребного наряда авиационных комплексов для выполнения тушения зоны массового пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельник, Н. Основные направления развития средств воздушно-космического нападения США и НАТО / Н. Мельник // Зарубежное военное обозрение, 2015. № 5. С. 65–72.
2. Справочник по современным и перспективным образцам авиационной техники и вооружения Вооруженных сил ведущих иностранных государств. М. 2016. 268 с.
3. Тактика военно-транспортной авиации. Дивизия – полк. Учебник. М.: Воениздат, 1989. 408 с.
4. Венцель Е.С. Основы боевой эффективности и исследования операций. Учебник / Е.С. Венцель, Я.М. Лихтеров, Ю.Г. Мильграм, И.В. Худяков. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1961. 517 с.

УДК 658.5: 621.311.2

**АНАЛИЗ РИСКОВ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ
В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ**
**RISKS ANALYSIS OF DISTRIBUTED ENERGY DEVELOPMENT ON RENEWABLE
ENERGY SOURCES IN THE ARCTIC REGION**

Людмила Вениаминовна Неведова, Александр Алексеевич Соловьев
Ludmila V. Nefedova, Alexander A. Solovyev

*Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова,
Россия, Москва*

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; Moscow
(e-mail: nefludmila@mail.ru, a.soloviev@geogr.msu.ru)*

Аннотация: Рассматриваются вопросы классификации рисков развития распределенной энергетики в Арктике с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Составлен реестр основных возможных видов риска. На основе проведенного SWOT - анализа внешних и внутренних факторов данного процесса выделено значение природного и ресурсного факторов, как наиболее лимитирующих развитие.

Abstract: The issues of development risks of distributed energy in the Arctic zone of Russia using renewable energy sources (RES) are considered. A register of the main possible risks has been compiled. Based on the SWOT analysis of the external and internal factors of this process, the importance of natural and resource factors as the most limiting the development has been highlighted.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, классификация рисков, SWOT-анализ, инвестиционные риски, ресурсные риски.

Keywords: renewable energy sources, wind energy, risk classification, SWOT-analysis, investment risks, resource risks.

Территория Арктической зоны России отличается значительным разнообразием природно-климатических ресурсов и является весьма неоднородной в экономическом плане, в 2017г. для дальнейшего освоения ресурсов и социально-экономического развития региона, было принято решение перейти на территориальный вариант планирования с созданием Опорных Зон Развития. Именно такая территориальная организация хозяйственной деятельности в Арктике наиболее эффективно позволяет создавать энергетическую инфраструктуру с развитием распределенной энергетики и созданием локальных энергосетей, как и была поставлена задача в указе Президента РФ № 204 от 07.05.2018 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» правительству РФ поручено обеспечить развитие распределенной генерации, в том числе на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в удаленных и изолированных районах России.

Ускоренное развитие Арктического региона требует в качестве одного из основных компонентов, и уже на начальном этапе, формирования устойчивой энергетической инфраструктуры в регионе. Наиболее эффективным вариантом была бы не только модернизация действующих электростанций и энергоустановок, а включение их в разработку комплексной схемы с использованием всех возможных энергоисточников. При неравномерно заселенных территориях российской Арктики, наличии большого числа локальных потребителей наиболее перспективным вариантом электро- и энергоснабжения является развитие распределенной энергетики [1]. Фактически именно этот вариант и был использован в советский период освоения данных территорий. Традиционно с XXв в городах и крупных поселках Советской Арктики энергоснабжение обеспечивалось местами ТЭС на угле,

а на удаленных территориях – с помощью распределенной энергетики на базе дизель-генераторов. Такой тип энергообеспечения имел результатом значительное негативное воздействие на окружающую среду: загрязнение атмосферного воздуха вследствие эмиссии парниковых газов, золы, а также территорий – порожней тарой (бочками) от доставленного дизельного топлива. Вывоз тары, или ее утилизация, не производились, что привело к значительным экологическим проблемам практически по всему побережью Северного Ледовитого океана и арктических территорий. И сейчас в рамках северного завоза ежегодно поставляется до 6-8 млн т горюче-смазочных материалов и до 20-25 млн т угля. Доля транспортной составляющей в стоимости топлива достигает 70% [2].

При известном высоком потенциале ветроэнергетических ресурсов и значительных территориях со среднегодовыми значениями скоростей ветра в 6-8 м/с в Арктическом регионе, использование данного ресурса сопряжено с очень большими рисками, обусловленными частыми связями с ураганными порывами ветра, снежными бурями и заносами, угрозой обледенения лопастей [3]. Среднегодовое дневное поступление энергии прямого солнечного излучения в Арктике варьируется от 2 до 5 кВт·ч/(м²день). Этот энергетический потенциал солнечной энергии существенен и пригоден для практического использования. Для сравнения: среднеедневное поступление солнечной энергии в южных районах Германии, где солнечные установки находят широкое применение, составляет всего около 3,4 кВт·ч/(м²день). В ясные летние дни во многих районах Арктики текущее поступление солнечной энергии на неподвижные ориентированные на юг приемные поверхности с оптимальным углом наклона к горизонту могут достигать 6–8 кВт·ч/м², что соизмеримо с поступлениями энергии солнечного излучения в южных районах страны [4].

Авторами был проведен анализ положительных и отрицательных факторов использования ВИЭ (ветро- и гелиоресурсов) в Арктическом регионе (таблица 1). Более подробный анализ возможных типов риска при осуществлении проектов на ВИЭ в Арктическом регионе позволил авторам классифицировать эти факторы и составить реестр основных видов рисков (таблица 2).

Таблица 1 – SWOT-анализ перспектив развития распределенной электрогенерации на ВИЭ в российской арктике.

| | Положительные | Отрицательные |
|--------------------|---|---|
| Внутренние факторы | <p><u>Сильные стороны:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Высокий потенциал ветроэнергетических ресурсов - Значимый потенциал гелиоресурсов в летний период - Наличие данных ветромониторинга в ряде перспективных площадок - Возможность создания ЭС разной мощности в т.ч. по модулям (блокам) - Возможность изучения опыта действующих ВЭУ и гелиоустановок в Арктическом регионе | <p><u>Слабые стороны:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Непостоянство получения энергии (неравномерность энергопотенциала во времени и пространстве) - Значительные периоды простоя оборудования (без выработки электроэнергии). Низкий коэффициент использования мощности солнечных установок - Отсутствие отечественных технологий установок на ВИЭ для условий Арктики на промышленном уровне - Сложности и высокая стоимость доставки оборудования |

| | Положительные | Отрицательные |
|-----------------|--|---|
| Внешние факторы | <u>Возможности</u> - Производство электроэнергии в требуемых объемах в удаленных зонах децентрализованного энергоснабжения - Значительное снижение эмиссии парниковых газов и нагрузки на уязвимую природу Арктики - Государственная поддержка по ФЦП - Широкие возможности для международного сотрудничества - Наличие обширных свободных площадей | <u>Угрозы</u> - Природно-климатические: ураганные ветра и снежные бури и заносы, криогенная деструкция подземных конструкций. - Технические препятствия: сложности строительства (вечная мерзлота), отсутствие дорог - высокая конкуренция других типов энергоисточников - Нефиксированный тариф на электроэнергию - Несовершенство законодательной базы (отсутствие механизма стимулирования объектов ВИЭ малой мощности) - Непрозрачная разрешительная система, бюрократические препятствия |

Рассматривая виды рисков проектирования и создания энергообъектов распределенной энергетики на ВИЭ в Арктике, необходимо, по-видимому, выделить различные фазы в данном процессе. Основные стадии инвестиционного проекта таких энергообъектов следующие: 1. Преинвестиционная фаза, 2. Инвестиционная фаза и 3. Эксплуатационный период. Соответственно в первые две фазы основную опасность, требующую основательных оценок оставляют инвестиционные, регулировочные и валютные риски, а в третий период – ресурсные, природные и эксплуатационные риски. При этом финансовые затраты на страхование рисков будут максимальны на инвестиционной фазе, в третьем периоде они возрастают по мере эксплуатации энергообъекта с каждым годом.

В связи с выявленными высокими рисками получения гарантированной мощности при использовании ВИЭ в Арктике при подготовке дорожной карты развития инфраструктуры распределенной энергетики в АЗРФ необходимо включать все современные типы и варианты тепло- и электрообеспечения. Основными компонентами могут являться:

- 1) установки на возобновляемых источниках энергии, как наиболее экологически чистые объекты, с системами накопления энергии;
- 2) атомные установки малой (мегаватной) мощности, включая плавучие атомные станции;
- 3) газогенераторные установки на сжиженном газе;
- 4) дизельгенераторы современной конструкции, как дублирующие мощности при использовании ВИЭ;
- 5) крупные ТЭС для городских образований и энергоснабжения опорных зон в Арктике.

Таблица 2. Реестр основных видов рисков при освоении ВИЭ в арктике

| ВНЕШНИЕ РИСКИ – НЕ ЗАВИСЯЩИЕ ОТ ДЕВЕЛОПЕРА ПРОЕКТА | |
|---|--|
| ВИДЫ РИСКОВ | НАИМЕНОВАНИЕ РИСКОВ |
| ПОЛИТИЧЕСКИЕ РИСКИ | Политическая нестабильность, изменение таможенной политики, риск государственного неподчинения международным договоренностям. |
| РЕГУЛИРОВОЧНЫЕ РИСКИ | Риски изменения мер стимулирования использования ВИЭ, тарифного и экологического регулирования; регулирования в области безопасности; специфические налоговые риски. |
| РЫНОЧНЫЕ РИСКИ | финансово-экономические риски, риск изменения стоимости капитала, недополучения прибыли, изменение цен на топливо, конъюнктуры рынка, |
| ВАЛЮТНЫЕ РИСКИ | Риски, связанные с валютной нестабильностью неблагоприятно |

| ВИДЫ РИСКОВ | НАИМЕНОВАНИЕ РИСКОВ |
|---|--|
| | влияют на стоимость инвестиций и возникают, когда есть валютное несоответствие активов (доходов) и обязательств (долговое финансирование). |
| РЕСУРСНЫЕ РИСКИ | Риск, связанный с высокой пространственно-временной изменчивостью потенциала ветро-, гелио- и др. ресурсов, неопределенностью связанной с их доступностью. |
| ПРИРОДНЫЕ РИСКИ | Риски, связанные с возможностью катастрофических явлений в арктическом регионе (ураганов, снегопадов, снежных заносов, явлений солифлюкции). |
| ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ | Риски воздействия объектов ВИЭ на уязвимую природу Арктики при штатной работе и в аварийных ситуациях. |
| ВНУТРЕННИЕ РИСКИ – ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ДЕВЕЛОПЕРА ПРОЕКТА | |
| ИНВЕСТИЦИОННЫЕ РИСКИ | Недостаточная проработка предлагаемого проекта на ВИЭ, несостоятельность девелоперов по обоснованию инвестиционной привлекательности проекта |
| ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РИСКИ | Неверный выбор технологического оборудования, нарушения технологических процессов, нерегулярная профилактика и ремонт оборудования, непреднамеренные сбои в работе, потери в результате сбоев и поломок. |
| СТРАТЕГИЧЕСКИЕ (Управленческие) РИСКИ | Разработка и воплощение неверных бизнес-решений, неспособность управленческого аппарата принимать правильные решения с учётом изменений внешних факторов |
| ОПЕРАЦИОННЫЕ РИСКИ | Возникновение отклонений в информационных системах и системах внутреннего контроля; связанные с недостаточностью систем контроля, риски, связаны с ошибками персонала |

Каждый из данных компонентов системы развития распределенной энергетики АЗЗФ имеет свои положительные и отрицательные факторы использования. Необходимо рассматривать всевозможные варианты решения задачи устойчивого энергообеспечения применительно к каждому конкретному проекту с его географическими особенностями привязки с использованием как традиционных, так и нетрадиционных источников энергии [1]. Возобновляемые источники энергии могут являться эффективным и экологичным средством решения многих локальных энергетических задач при глубокой предварительной проработке вопросов природных и ресурсных рисков на основании имеющегося опыта зарубежного и отечественного опыта использования установок на ветро- и гелиоресурсах в Арктическом регионе.

При формировании системы распределенной энергетики в Российской Арктике представляется необходимым создание локальных сетей (Microgrid) в местах компактного расселения и отдельных установок на углеводородном топливе или ВИЭ (с дублированием дизель или газо-генераторными установками) для изолированных потребителей. Такие интеллектуальные локальные сети направлены на сокращение выбросов и улучшение качества электроэнергии, что достигается путем поддержания постоянного напряжения и сокращения резких перепадов. Системы Microgrid используют распределенную генерацию и могут стать частью будущих систем Смартгрид [5]. Более широкое освоение ВИЭ в АЗРФ требует разработки энергоустановок, адаптированных к экстремальным условиям Арктики

Принятый в традиционной энергетике принцип планирования развития энергообъектов на основе оптимизации выбора комплекса оборудования по критерию минимальной стоимости энергии не может быть применен для арктических территорий. Необходимо разрабатывать многофакторные модели, включающие все возможные типы энергообъектов – спараметрами

минимальных рисков выдачи гарантированной мощности, минимальных экологических рисков, как в штатном режиме комплекса, так и при аварийных ситуациях, учитывая при этом и стоимостной фактор [6]. Сооружение энергообъектов на ВИЭ в Арктике получает в настоящее время в России большую государственную поддержку, снижающую риски в работе электростанций, однако в дальнейшем развитии возобновляемая энергетика, по-видимому, пойдет по пути создания Государственно-частных предприятий с привлечением частных инвестиций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нефедова Л. В., Соловьев А. А. Новые вызовы и риски на пути развития распределенной энергогенерации в Арктическом регионе России // Энергетическая политика. — 2018. — № 4. — С. 99–108.
2. Соловьев Д.А., Моргунова М.О. Комплексное освоение Российской Арктики: климатические вызовы, транспортные коридоры и новые энергетические технологии // Энергетическая политика. — 2018. — № 4. — С. 89–98.
3. Елистратов В.В. Проблемы и решения создания эффективных систем энергоснабжения потребителей Заполярья с использованием инновационных технологий ВИЭ- Москва: ООО “Системный консалтинг”, 2017. 41 с.
4. Использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения потребителей в Арктической зоне Российской Федерации / О. С. Попель, С. В. Киселева, М. О. Моргунова и др. // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 1(17). — С. 64–69.
5. Morgunova M.O., Solovyev D.A. Challenges to overcome: energy supply for remote consumers in the Russian Arctic // J. Phys. Conf. Ser. 2017. T. 891. № 1. S. 1–6.
6. Факторы риска при сооружении энергообъектов на возобновляемых источниках энергии в России / Л. В. Нефедова, А. А. Соловьев, Л. А. Шилова, Д. А. Соловьев // Вестник МГСУ. — 2016. — № 12. — С. 79–90.

УДК 675.02:675.015.4

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОЖЕВЕННОГО И МЕХОВОГО ПРОИЗВОДСТВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ IMPROVING LEATHER AND FUR PROCESSING FOR REDUCING NEGATIVE IMPACT ON ENVIRONMENT

**Вера Дашиевна Раднаева, Николай Васильевич Советкин,
Дмитрий Валерьевич Шалбуев
Vera D. Radnaeva, Nikolai V. Sovetkin, Dmitri V. Shalbuev**

*Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
Россия, Улан-Удэ*

*East Siberia State University of Technology and Management, Russia, Ulan-Ude
(e-mail: radnaevav@mail.ru, nsovetkin@mail.ru, shalbuev@mail.ru)*

Аннотация. Показаны основные направления совершенствования процессов кожевенного и мехового производств. Представлено новые методы обработки кожевенного и овчинно-мехового сырья, разработанные в Восточно-Сибирском государственном университете технологий и управления. Показаны их преимущества в сравнении со применяемыми в настоящее время.

Abstract. The main directions for improving the leather and fur production processes based on international conferences are shown. The description of innovative methods for the implementation of the liquid processes of leather and sheepskin and fur raw materials developed in the East Siberia State University of Technology and Management is presented. Their advantages are shown in comparison with currently used ones.

Ключевые слова: процессы, кожа, мех, интенсификация, сточные воды, загрязнение, эко-биотехнологический метод.

Keywords: processes, leather, fur, intensification, wastewater, pollution, eco-biotechnological method.

Основными направлениями исследований в кожевенной отрасли, представленные на XI Азиатской международной конференции кожевенной науки и технологии [1], являлись: новые способы обезволаживания, золения, дубления, поиск альтернативы хромовому дублению, разработка способов очистки сточных вод, использование отходов кожевенной и меховой отраслей. Много работ посвящено совершенствованию хромового дубления и поиску альтернативного дубления.

Для повышения адсорбционной способности хромового дубителя предложен двухстадийный способ дубления путем выполнения первой и второй стадий дубления при разных температурах (от 30 до 60 °С). По мнению авторов, увеличение проникающей способности дубителя связано с изменением свойств дубителя при изменении температуры. Предлагаемый способ увеличил отработку солей хрома до 96,3% [2]. При этом расход соединений хрома сокращен почти в два раза.

В качестве альтернативы хромовому дублению предлагают использовать оксазолидин, обладающий с высоким сродством к природным белкам [3]. В основном он используется в сочетании с дубильным материалом растительного или синтетического происхождения, например, с порошковым экстрактом стручков растения *Garad*. Комбинированная система *garad*-оксазолидин обеспечивает коже хорошие органолептические свойства и сопоставимые прочностные свойства, а также способствует значительному снижению сброса общего количества растворенных твердых веществ в сточные воды.

Авторами предложен использовать вместо солей хрома для дубления комплексный дубитель (Zr-HOS), состоящий из соли циркония и высокоокисленного крахмала (HOS)[4]. Комплекс позволяет устранить недостатки циркониевого дубления. Физические и органолептические свойства дубленой кожи Zr-HOS сопоставимы со свойствами хромированной дубленой кож.

Дубление сульфатом алюминия с последующей обработкой микроволновыми излучениями позволило ускорить реакцию сшивания алюминия с коллагеном и увеличить степени сшивания, и образцы кож, обработанные таким образом продемонстрировали улучшенную термостабильность [5]. Установлено, что микроволновые излучения способствуют проникновению и сочетанию хрома во время дубления, что может свидетельствовать о нетепловом эффекте микроволнового излучения при дублении хрома [6]. Авторы считают перспективным применение микроволновой технологии в белковой промышленности [7]

Гидролизат волос крупного рогатого скота модифицировали виниловыми мономерами путем радикальной сополимеризации с использованием персульфата аммония при 80 °С в течение 3 часов с целью получения биополимерного дубителя, который использовали для додубливания и наполнения кож [8].

Значительное количество работ посвящено использованию ферментов на различных стадиях кожевенного производства. Благодаря применению при мягчении кислотной протеазы взамен обычно используемой щелочной увеличилась воздухопроницаемость и пористость кож [9].

Таким образом, ученые активно заняты поиском альтернативы хромовому дублению. Однако большинство ученых констатирует факт, что в настоящее время хромовое дубление является основным при выработке большинства видов кож и полноценной замены хромовому дублению нет. Наряду с преимуществами дубление соединениями хрома имеют недостатки, связанные с негативным воздействием на окружающую среду.

На наш взгляд, можно применять хромовое дубление без негативного воздействия на окружающую среду при сохранении и улучшении качества кожи и меха.

Второй актуальной проблемой кожевенного и мехового производств является большое водопотребление и водоотведение. В Восточно-Сибирском государственном университете технологий и управления разработаны технологии, позволяющие уменьшить негативное воздействие хромового дубления и значительно снизить водопотребление и водоотведение.

Технологии основаны на новых способах обработки дермы многокомпонентными системами при их расходе 20-30% от массы полуфабриката, что позволяет совмещать несколько технологических процессов в одном [10]. Расход воды на жидкостных операциях при производстве кож для верха обуви составляет 100-400% от массы полуфабриката. Жидкостные процессы занимают 30-40% всего технологического цикла обработки кож. Кроме того, новая технология обработки кожевенного сырья при производстве кож хромового дубления для верха обуви, позволяет получить ряд других преимуществ: сократить продолжительность производственного цикла с 28 ч до 4,2 ч, не считая пролежек; снизить расход электроэнергии в 3 раза и уменьшить расход солей хрома на 32%. Показатели химического состава и физико-механических свойств соответствуют требованиям ГОСТ 939-88. Одним из преимуществ новой технологии является увеличение выхода кож по площади на 5-10%.

При выделке овчинно-шубного сырья расход воды на жидкостные операции составляет 1000-2500% от массы пресно-сухого сырья. Существенного снижения водопотребления и водоотведения при переработке овчинно-шубного сырья можно достичь путем замены окуночных методов выполнения жидкостных процессов на намазные. Так, во ВСГУТУ разработана новая технология поштучной обработки овчинно-шубного сырья путем нанесения многокомпонентных составов на кожную ткань с помощью специально разработанной намазной машины. Кроме того, установлено, что обработка по новой технологии улучшает формирование объема дермы, что выражается в приросте площади овчин на 5-6 %, увеличению пористости на 5% и прочности кожной ткани на 3-4%.

В таблице 1 представлены сравнительные данные по водопотреблению и водоотведению в кожевенном (производство кож для верха обуви) и меховом (выделка шубной овчины) производствах.

Представляет интерес принципиально новый эко-биотехнологический метод переработки коллагенсодержащего сырья, основанный на использовании отходов молочной промышленности, продуктов жизнедеятельности микроорганизмов [11].

Таблица 1 – Объемы водопотребления и водоотведения по опытной и существующей технологиям, м³

| Производство | Водопотребление | | Водоотведение | |
|---|-----------------|--------------|---------------|--------------|
| | Опытная | Существующая | Опытная | Существующая |
| Кож для верха обуви (1000 кг сырья) | 4,9 | 9,9 | 4,6 | 8,7 |
| Шубная овчина (1000 штук), процесс намазного дубления-жирования | 0,0 | 22,1 | 0,0 | 21,0 |

Новый метод уменьшит уровень негативного воздействия на окружающую среду путем применения отходов молочной промышленности при выделке овчинно-шубного сырья. Кроме того, метод имеет преимущества по сравнению с существующим: улучшение качества полуфабриката за счет лучшего обезжиривания волоса и кожной ткани, разделения микроструктуры дермы на более мелкие структурные элементы, сокращения продолжительности процессов дубления и жирования путем их объединения.

Эко-биотехнологический метод переработки овчинно-шубного сырья обладает рядом преимуществ перед технологиями, применяемыми в настоящее время на промышленных предприятиях. Проведение отмоки-обезжиривания с помощью бак-суспензии существенно минимизирует уровень антропогенного воздействия на окружающую среду за счет удаления формальдегида, карбоната натрия из рабочей ванны и значительного снижения расхода поверхностно-активных веществ с 6,0-8,0 до 1,0-1,5 г / дм³.

Использование отходов молочной промышленности, в частности, ферментированной сыворотки для пикелевания позволит расщеплять волокна коллагена в более мягких условиях. Современные технологии пикелевания основаны на использовании хлорида натрия (40 г / дм³), уксусной кислоты и серной кислоты (до 3,0 и 1,5 г / дм³ соответственно). Недостатком этого способа с использованием уже известного состава является то, что кислоты воздействуют на волосы полуфабриката из меха, что приводит к изменению водородных и солевых связей в кератине и ослабляет структуру волос.

Применение эко-биотехнологического метода в подготовительных и пикельно-дубильных процессах позволяет достичь следующих результатов: снижение расхода химических материалов в 3-5 раз; увеличение выхода по площади на 5-10%; исключение загрязнения сточных вод солями хрома и жирами; снижение расхода синтетических поверхностно-активных веществ с 8,0-6,0 до 0,5-1,0 г/дм³; исключение использования формальдегида, карбоната и хлорида натрия в рабочих ваннах; снижение уровня загрязнения сточных вод; улучшение качества кожаной ткани и волосяного покрова; возможность проведения определенных этапов переработки овечьего сырья на малых предприятиях без использования специального оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Proceeding of Abstracts. The 11th Asian International Conference of Leather Science and Technology. Xi'an, China. 2018. 157 с.
2. Hui Zeng, Weixing Xu, Jianfei Zhou, Bi Shi. A New Two-stage Chrome Tanning Method under Variable Temperature //Proceeding of Abstracts. The 11th Asian International Conference of Leather Science and Technology. Xi'an, China. 2018. C.2-3.
3. A.E Musa, G.A. Gasmelseed, E.F. Faki, H.E Ibrahim, O.A Haythem, M.A Manal, S.B Haythem . An Eco-benign Organic Combination Tanning System for Manufacture of Garment Leathers // Proceeding of Abstracts. The 11th Asian International Conference of Leather Science and Technology. Xi'an, China. 2018. C.5-6.
4. Yue Yu, Zhen Wang, Min Zhu, Jianfei Zhou, Ya-nan Wang, Bi Shi. A Novel Chrome Free Tanning Technology Based on the Complex of Zirconium and Highly-oxidized Starch //Proceeding of Abstracts. The 11th Asian International Conference of Leather Science and Technology. Xi'an, China. 2018. C.10-11.
5. Yue Liu, Jinwei Zhang, Guirong Qiu, Li Zhang, Xiong Liu, Fangfei Liu, Wuyong Chen, Haibin Gu. Microwave-Irradiated Tanning Reaction of Aluminum with Collagen // Proceeding of Abstracts. The 11th Asian International Conference of Leather Science and Technology. Xi'an, China. 2018. C.16-17.
6. Jinwei Zhang, Jiacheng Wu, Wuyong Chen. Microwave irradiation: an effective and innovative routine to promote chrome tanning process // Proceeding of Abstracts. The 11th Asian International Conference of Leather Science and Technology. Xi'an, China. 2018. C.78-79.
7. Jiacheng Wu, Jinwei Zhang, Yue Liu, Wuyong Chen. Application and prospect of microwave assisted technology in protein-related industry // Proceeding of Abstracts. The 11th Asian International Conference of Leather Science and Technology. Xi'an, China. 2018. C.84-85.
8. Luo Jianxun, Ma Hewei. Application and Preparation of A bio-polymer re-tanning agent based on Cattle hair hydrolysate // Proceeding of Abstracts. The 11th Asian International Conference of Leather Science and Technology. Xi'an, China. 2018. C.11-12.

9. Hao Li, Deyi Zhu, Jie Liu, Feifei Zhang, Tianping Yu, Yanchun Li, Shan Cao. Property changes of Wet-blue influenced by bating with different acid protease // Proceeding of Abstracts. The 11th Asian International Conference of Leather Science and Technology. Xi'an, China. 2018. С.8-9.

10. Shalbuev Dm. "Green" Technologies of Leather and Fur Raw Materials Processing on Basic of the Buryats and Mongol Peoples Traditions // Proceeding of Abstracts. The 11th Asian International Conference of Leather Science and Technology. Xi'an, China. 2018. С. 14-15.

11. Radnaeva V., Sovetkin N. Reduction of Water Consumption in the Processing of Raw hide and Sheepskin Coat Materials // Proceeding of Abstracts. The 11th Asian International Conference of Leather Science and Technology. Xi'an, China. 2018. С. 15-16.

УДК 66.011

РАСЧЕТ ТАРЕЛЬЧАТОГО ВИБРОИЗОЛЯТОРА CALCULATION OF A PLATE-SHAPED VIBRATION ISOLATOR

Елена Сергеевна Бородина, Михаил Павлович Тюрин, Олег Савельевич Кочетов
Elena S. Borodina, Mikhail P. Tyurin, Oleg S. Kochetov

*Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: borodina-es@rguk.ru, tjurinmp@yandex.ru, o_kochetov@mail.ru)*

Аннотация: Авторами разработана методика расчета тарельчатых упругих элементов виброизоляторов для станков с учетом предварительных замеров уровней виброскорости на межэтажных перекрытиях фабричных зданий.

Были разработаны и испытаны системы виброизоляции подвешенного и опорного типов для станков, включающие в себя сетчатые и тарельчатые упругие элементы, которые снижают динамические нагрузки на перекрытие в полосе частот 8...16 Гц в 2,5...3 раза.

Abstract: The authors developed a method for calculating plate-shaped elastic elements of vibration isolators for machine tools, taking into account preliminary measurements of vibration velocity levels on floors of factory buildings.

Suspended and support type vibration isolation systems for machine tools were developed and tested, including mesh and plate elastic elements that reduce the dynamic load on the ceiling in the frequency band 8 ... 16 Hz by 2.5 ... 3 times.

Ключевые слова: виброизоляция, тарельчатый виброизолятор, расчет виброизолятора
Keywords: vibration isolation, plate vibration isolator, vibration isolator calculation

В настоящее время наиболее оптимальным является применение нелинейных равночастотных пружин, например, резиновых и тарельчатых [1, 2, 3, 4]. Сложность вопроса размещения нового, более высокопроизводительного оборудования, на старых производственных площадях, связана с тем, что приходится либо увеличивать жесткость межэтажных перекрытий, либо устанавливать оборудование на виброизолирующие системы. Последний путь зачастую более предпочтителен, так как не требует больших затрат на реконструкцию зданий.

Так, например, в ЗАО «МПКО (Московское производственное камвольное объединение) «Октябрь» был решен вопрос о снижении динамических нагрузок в ткацком производстве на перекрытии над 2-м этажом в пользу установки оборудования на виброизолирующие системы. Это решение было связано с тем, что при очередном обследовании перекрытия здания фабрики зафиксировано превышение допустимых [6] динамических нагрузок на данное перекрытие в 2 с лишним раза, в полосах частот со среднегеометрическими частотами 8 и 16 Гц.

Выбираем тарельчатую пружину нормальной точности, получаемую штамповкой без механической обработки поверхности обреза из стали марки 60С2А по ГОСТ, HRC 44...50. Геометрические параметры пружины: наружный диаметр $D=50$ мм; внутренний диаметр $D_1=25$ мм; статическая осадка под максимальной нагрузкой $f_3=1,45$ мм; толщина тарельчатой пружины $s=1,8$ мм; высота в свободном состоянии $h_0=3,25$ мм.

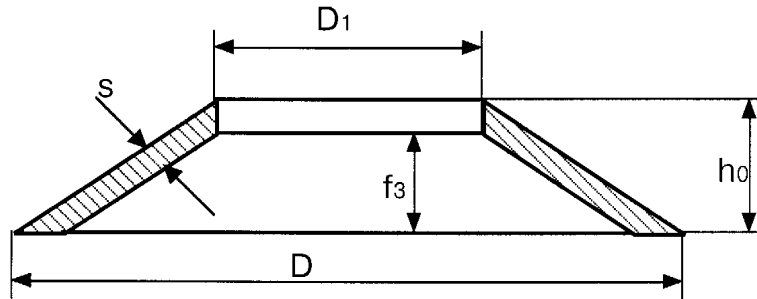


Рисунок 1 – Расчетная схема тарельчатого упругого элемента.

Определим вид упругой характеристики пружины по соотношению:

$$\begin{aligned} \frac{f_3}{s} < 0,6 & - \text{линейная характеристика;} \\ \frac{f_3}{s} \geq 0,6 & - \text{нелинейная характеристика;} \end{aligned} \quad (1)$$

Для наших размеров $\frac{f_3}{s} = 0,8$ – характеристика нелинейная.

Теперь определим жесткость пружины по формуле

$$k_z = \frac{4Es^3}{(1-\mu^2)YD^2} \left[\left(\frac{f_3}{s} - 3 \frac{f_2 \cdot f}{s^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{f}{s} \right)^2 + 1 \right) \right] = 2225 \text{ кгс/см}, \quad (2)$$

где E - модуль упругости для стали, равный $2,1 \times 10^6$ кгс/см²,

μ - коэффициент Пуассона для стали $\mu=0,3$;

$$Y = \frac{6}{\pi \ln A} \left[\frac{A-1}{A} \right]^2 = 0,687, \quad (3)$$

$$A = \frac{D}{D_1} = \frac{50}{25} = 2 - \text{отношение диаметров пружины}$$

При последовательном соединении пружин в комплекте жесткость вычисляется по формуле

$$k_{z_{\text{общ}}} = \frac{k_z}{n} = 222,5 \text{ кгс/см}, \quad (4)$$

где n - число пружин в комплекте.

Определим суммарную жесткость системы виброизоляции в вертикальном направлении

$$C_z = 4 \cdot k_z = 4 \cdot 222,5 = 890 \text{ кгс/см}, \quad (5)$$

Определим собственную частоту колебаний системы «станок на виброизоляторах» в вертикальном направлении:

$$f_z = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_z \cdot g}{Q}} = 3 \text{ Гц}, \quad (6)$$

Вычислим эффективность виброизоляции для схемы установки станка на абсолютно жесткое основание, причем следует отметить, что демпфирование в системе обусловлено внутренним поглощением энергии в материале виброизоляторов (коэффициент неупругого

сопротивления $\gamma=0,037$). Определим коэффициент передачи силы на частоте вынужденных колебаний станка в вертикальном направлении, при числе оборотов главного вала $n_1 = 220 \text{ мин}^{-1}$, для первых трех гармоник.

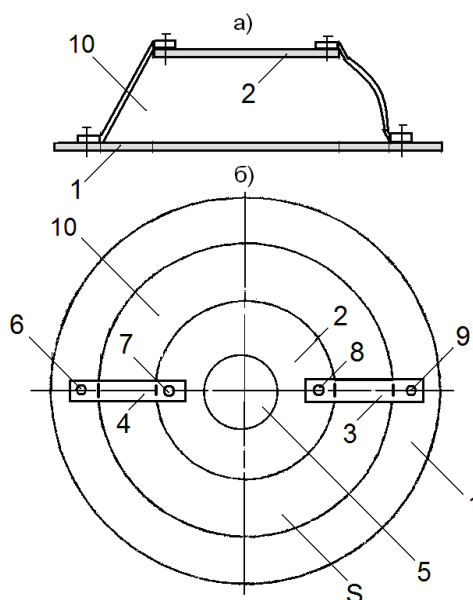
$$f_{в1} = \frac{n_1}{60} = \frac{220}{60} = 3,67 \text{ Гц}; \quad f_{в2} = 7,33 \text{ Гц}; \quad f_{в3} = 11,01 \text{ Гц};$$

$$\eta_z^1 = \sqrt{\frac{1 + \gamma^2}{\left(1 - \frac{f_{в1}^2}{f_z^2}\right)^2 + \gamma^2}} = 2; \quad (7)$$

Аналогично были определены коэффициенты виброизоляции для 2-ой и 3-ей гармоник:

$$\eta_z^2 = 0,21; \quad \eta_z^3 = 0,08.$$

Разработка систем виброизоляции для технологического оборудования с учетом статических и динамических реакций оборудования в опорных точках является в настоящее время актуальной задачей [5,7]. Автором разработаны новые комбинированные системы виброизоляции на базе тарельчатых упругих элементов в сочетании с сетчатым демпфером (рисунок 2).



а) фронтальный разрез, б) вид сверху

1, 2 – кольца, 3, 4 – упругие стержни, 5 – центральное отверстие,
6, 7, 8, 9 – крепеж, 10 – кольцевой зазор.

Рисунок 2 – Тарельчатый упругий элемент с сетчатым демпфером

На рисунке 3 изображены следующие кривые испытаний: кривая 1 – нормативные значения по ГОСТ [6]; кривая 2 – 6 станков СТБ 2-175 установлены «жестко», точка замера: т. № 2; кривая 3 – 6 станков СТБ 2-175 с кареткой СКН-14 установлены «жестко», точка замера: т. № 1; кривая 4 – 6 станков СТБ 2-175 установлены на тарельчатые виброизоляторы, т. № 1; кривая 5 – 6 станков СТБ 2-175 установлены на тарельчатые виброизоляторы, т. № 2.

Из представленных материалов видно, что прохождение резонансного режима работы станка на тарельчатых виброизоляторах на первой гармонике (3,67 Гц) практически не отразилось на его эффективности в требуемом диапазоне частот (8...16 Гц). В полосе частот со среднегеометрической частотой 4 Гц имеет место незначительное увеличение виброскорости ($\text{мс}^{-1} \times 10^{-2}$), например для точки №1 с 0,08 до 0,11; для точки № 2 – с 0,09 до 0,12 (при норме 0,23). Динамические нагрузки от станка на тарельчатых виброизоляторах на

перекрытие в полосе частот 8...16 Гц уменьшаются в 2,5...3 раза, приводя их в соответствие с нормативными значениями по ГОСТ 12.1.012 - 2004.

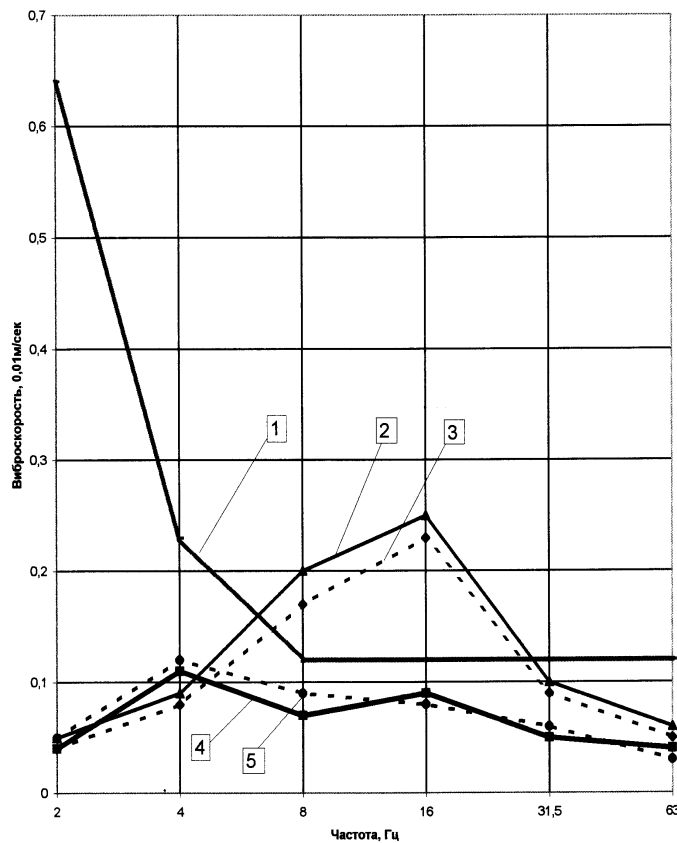


Рисунок 3 – Результаты испытаний виброизоляторов с тарельчатыми элементами.

Выводы

1. Разработана методика расчета тарельчатых упругих элементов виброизоляторов для станков с учетом предварительных замеров уровней виброскорости на межэтажных перекрытиях фабричных зданий.

2. Разработаны и испытаны системы виброизоляции подвешенного и опорного типов для станков, включающие в себя сетчатые и тарельчатые упругие элементы, которые снижают динамические нагрузки на перекрытие в полосе частот 8...16 Гц в 2,5...3 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочетов О.С. Расчет пространственной системы виброзащиты. Журнал «Безопасность труда в промышленности», № 8, 2009, стр.32-37.

2. Кочетов О.С. Методика расчета систем виброизоляции для ткацких станков // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.– 1995, № 1. С. 88...92

3. Кочетов О.С. Методика расчета системы виброизоляции для вязально-прошивных машин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.– 1995, № 2. С. 89...94.

4. Кочетов О.С., Кочетова М.О. Виброизолятор технологического оборудования. // Патент РФ на изобретение № 2305806. Опубликовано 10.09.2007. Бюллетень изобретений № 25.

5. ГОСТ 12.1.012 - 2004. ССБТ. Вибрация. Общие требования безопасности. М.: Госстандарт, 1991, -31с.

6. Кочетов О.С. Виброизолирующая система для металлорежущих станков. Журнал «Главный механик», № 9, 2013, стр.64-65.

УДК 628.31

**ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ
THE FEATURES OF THE CLEANING WASTE WATER CHEMICAL INDUSTRIES****Надежда Вячеславовна Алексеева, Наталья Цибикивна Гатапова
Nadezda V. Alekseeva, Natalia Z. Gatapova***Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов***Tambov State Technical University, Russia, Tambov**(e-mail: alexejewa.nadja@gmail.com)*

Аннотация: Рассмотрены особенности организации процесса очистки стоков и возврата очищенной воды в химических производствах на примере производства пигментов.

Abstract: Some features of the organization of the sewage treatment process and return of purified water in chemical production on the example of the pigments production were shown.

Ключевые слова: сточные воды, химические производства, очистка.

Keywords: sewage, chemical production, cleaning.

Химические производства – сложный процесс, требующий точного соблюдения всех технологических параметров, требований к качеству и виду исходного сырья и условий хранения готового продукта. Не соблюдение хотя бы одного пункта приводит в лучшем случае к ухудшению качества готового продукта, а в худшем – к невозможности его получения. Одним из важных сырьевых компонентов химических производств является вода, от состава которой зависит качество готового продукта. Вследствие чего стадия водоподготовки необходима на каждом химическом предприятии. Используемая вода является средой для проведения химических реакций и осуществления процесса синтеза, в готовом продукте вода составляет минимально возможное количество. Основная часть воды, используемая в производстве, сбрасывается как сточные воды. Организация процесса очистки сточных вод и возврата части воды в производство позволит существенно сократить потребление воды производством и уменьшить количество сточных вод. Сточные воды химических производств представляют собой агрессивные химические растворы сложного состава, сбрасывание которых в канализацию наносит ущерб окружающей среде [1].

Для проектирования стадии очистки сточных вод необходимо знать количество образующихся на предприятии сточных вод, их состав и требования, предъявляемые на предприятии к исходной воде. Рассмотрим на примере производства пигментов алого, желтого и оранжевого. При производстве пигментов значительное количество сточных вод образуется на стадии фильтрации и промывки суспензии, сливаемых в канализацию (на 1 тонну):

- Для пигмента алого 139860 кг;
- Для пигмента желтого 65400 кг;
- Для пигмента оранжевого 20363 кг.

Состав сточных вод зависит от типа получаемого пигмента, но в общем случае, она содержит:

1. водорастворимые неорганические компоненты (кислоты или щелочи – в зависимости от того, в какой среде проходила реакция синтеза, и соли – продукты побочных реакций),

2. водонерастворимые органические компоненты (частицы пигментов, прошедшие через фильтрующую перегородку).

3. взвешенные мелкодисперсные твердые частицы.

В качестве исходной воды на производстве используется артезианская вода с удельной электропроводностью не более 700 мкСм/см.

Для того чтобы очистить сточные воды до качества уровня артезианской воды, необходимо использовать обратноосмотический процесс разделения [2] с предварительной

подготовкой. Предварительная подготовка сточных вод необходима для удаления из растворов взвешенных частиц, водонерастворимых органических компонентов и по возможности снижения минерализации растворов.

Решение задачи удаления взвешенных частиц достигается проведением процесса разделения на рукавном фильтре. Для удаления водонерастворимых частиц органических компонентов необходим анализ размеров этих частиц. Для исследуемых пигментов размер молекул находится в диапазоне 0,0025 – 0,0055 мкм, чему соответствует нанофильтрационное разделение с размером пор 0,001 – 0,002 мкм [3]. Уменьшение минерализации обрабатываемого раствора необходимо для снижения рабочего давления в обратноосмотическом аппарате, что необходимо для химически агрессивных растворов. В условиях химического предприятия уменьшить солесодержание целесообразнее всего методом электродиализа [4]. Высокая минерализация раствора (более 5000 мкСм/см) обеспечивает низкое значение электросопротивления раствора, что снижает энергозатраты на разделение и приводит к незначительному нагреву раствора в электродиализном аппарате.

Выводы

В результате очистка сточных вод на химическом предприятии должна включать в себя:

1. Предварительную механическую очистку;
2. Стадию удаления органических компонентов;
3. Процесс уменьшения минерализации раствора;
4. Окончательную стадию очистки воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разбиралова А.А., Шмелев К.М. Комплексное использование сырья в химической промышленности // *Успехи в химии в химической технологии*. 2014. № 7(156). С. 47-49.
2. Сальников Н.А., Николайкина Н.Е. Оценка характеристик отечественных обратноосмотических модулей для организации оборотного водоснабжения малотоннажных производств // *Экология и промышленность России*. 2018. № 3. С. 22-27.
3. Броницын А.Ю. Современные тенденции эколого-ориентированного инновационного развития в сфере очистки сточных вод предприятиями ЖКХ в России и за рубежом // *Вестник университета (Государственный университет управления)*. 2017. № 7-8 С. 17-22.
4. Козадерова О.А., Ким К.Б., Нифталиев С.И. Изменение транспортных и физико-механических характеристик ионообменных мембран при деминерализации сточных вод электродиализом // *Физико-химические процессы в конденсированных средах и на межфазных границах (ФАГРАН-2018) / Материалы VIII Всероссийской конференции с международным участием*. 2018. С. 525-527.

УДК 66.011

**РАСЧЕТ СКРУББЕРА В СИСТЕМЕ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ
ПРИ СУШКЕ РАСПЫЛЕНИЕМ
CALCULATION OF A SCRUBBER IN THE DUST COLLECTION SYSTEM DURING
SPRAY DRYING**

**Елена Сергеевна Бородина, Маргарита Алексеевна Апарушкина,
Олег Савельевич Кочетов
Elena S. Borodina, Margarita A. Aparushkina, Oleg S. Kochetov**

*Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: borodina-es@rguk.ru, o_kochetov@mail.ru)*

Аннотация: Выполнен расчет скруббера с акустическими форсунками во второй ступени улавливания пыли продукта на примере режима распылительной сушилки, работающей по принципу параллельного тока движения раствора и теплоносителя. В качестве теплоносителя используется воздух, нагреваемый в газовом калорифере. В качестве распыливающего устройства рекомендована акустическая вихревая форсунка. Было выявлено, что акустические колебания распыливающего агента способствуют более тонкому распыливанию раствора, подаваемого в распределительную головку форсунки.

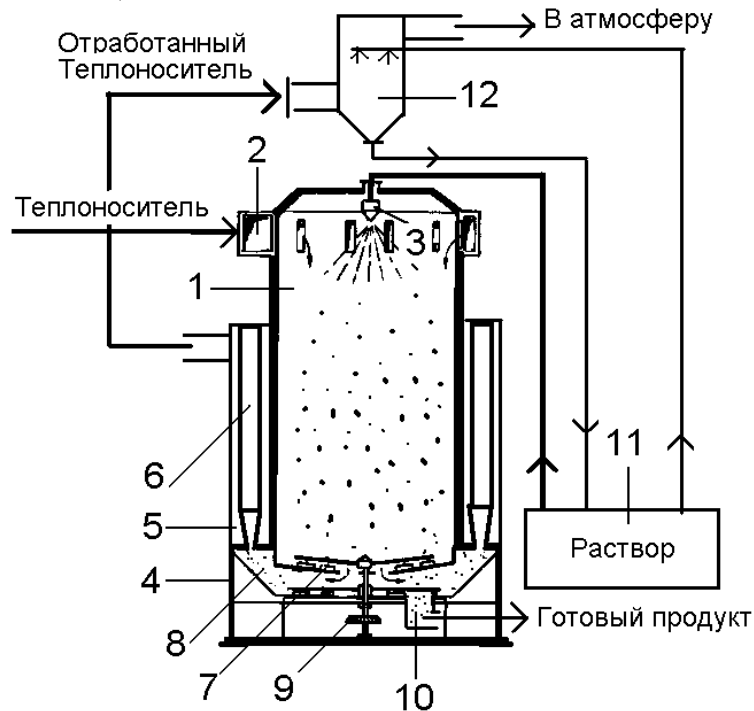
Abstract: The scrubber with acoustic nozzles in the second stage of dust collection of the product is calculated using the example of a spray dryer operating on the principle of a parallel flow of solution and heat carrier. As the heat carrier, air is used, heated in a gas heater. An acoustic swirl nozzle is recommended as a spray device. It was found that the acoustic vibrations of the atomizing agent contribute to finer atomization of the solution supplied to the nozzle distribution head.

Ключевые слова: распылительная сушилка, скруббер, акустическая форсунка, пылеулавливание

Keywords: spray dryer, scrubber, acoustic nozzle, dust collection

Рассмотрим расчет скруббера с акустическими форсунками во второй ступени улавливания пыли продукта на примере режима распылительной сушилки, работающей по принципу параллельного тока движения раствора и теплоносителя, схема которой представлена на рис.1. В качестве теплоносителя используется воздух, нагреваемый в газовом калорифере. В качестве распыливающего устройства используется механическая центробежная вихревая форсунка [1-4].

Вывод готового продукта из сушильной установки производится с помощью скребков 7 в приемный короб 8 для готового продукта, а затем в бункер 9 для сбора готового продукта. В качестве первой ступени очистки воздуха от пыли продукта используются циклоны 6, размещенные в стояках 5, а окончательная очистка его производится в мокром скруббере 12, который орошается раствором, подаваемым насосом из емкости 11. В качестве распыливающих устройств скруббера используются акустические форсунки, конструкция которых представлена на рисунке 2. В скруббере происходит предварительное сгущение раствора до требуемой влажности. Отработанный и очищенный теплоноситель выбрасывается в атмосферу, а сгущенный раствор поступает в емкость 11, и после перемешивания его с исходным раствором поступает в диспергатор 3.



1-сушильная камера, 2-система воздухопроводов для подачи теплоносителя, 3-распыливающее устройство, 4-корпус сушильной установки, 5-стойки для размещения системы улавливания высушенного продукта, 6-циклон, 7-скребковое устройство, 8-приемный короб для готового продукта, 9 - привод скребкового устройства, 10-бункер для сбора готового продукта, 11 - емкость для исходного раствора, 12 - скруббер.

Рисунок 1 – Схема распылительной сушилки, работающей по принципу параллельного тока движения раствора и теплоносителя

Акустическая форсунка в системе орошения мокрого скруббера работает следующим образом. Распыливающий агент (рисунок 2), например воздух, подается по штуцеру 3 в коллектор 2, связанный через отверстия 4 с полостью 5, которая выполнена в виде усеченного конуса. Из полости 5 воздух направляется в кольцевой зазор между стержнем 6 и корпусом 1, где встречает на своем пути резонатор 8, выполненный в виде торцевой выточки. В результате прохождения резонатора распыливающим агентом (например, воздухом) в последнем возникают пульсации давления, создающие акустические колебания, частота которых зависит от параметров резонатора.

Акустические колебания распыливающего агента способствуют более тонкому распыливанию раствора, подаваемого в распределительную головку 7 через полый стержень 6, из которой раствор подается в виде пленки жидкости, перекрывающей выход распыливающего агента из генератора звуковых колебаний, образованного резонатором 8. Эта пленка дробится под воздействием акустических колебаний воздуха на мелкие капли, в результате чего образуется факел распыленного раствора с воздухом, корневой угол которого определяется величиной угла наклона конической поверхности крышки распределительной головки 7.

Максимальное увеличение энергии для резонатора будет наблюдаться на резонансной частоте :

$$f_p = \frac{0,5c \left(\frac{k_p}{V_p} \right)^{0,5}}{\pi}, \quad (1)$$

где k_p – проводимость отверстий, соединяющих резонаторную камеру объемом V_p (м^3);

$$k_p = \frac{nS_0}{(l_{\text{отв}} + 0,8\sqrt{S_0})}, \quad (2)$$

где n – количество отверстий; S_0 – площадь одного отверстия диаметром d_0 , м^2 ; $l_{\text{отв}}$ – глубина отверстия, м.

Задаваясь величиной объема V_p резонаторной полости, а также резонансной частотой f_p , Гц, определяем проводимость отверстий:

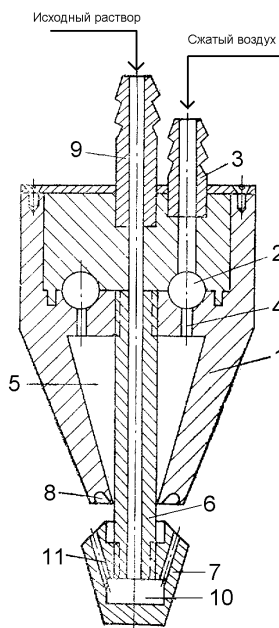
$$k_p = 4\pi^2 f_p c^{-2}, \quad (3)$$

и их количество

$$n = \frac{k_p (l_{\text{отв}} + 0,8\sqrt{S_0})}{S_0}, \quad (4)$$

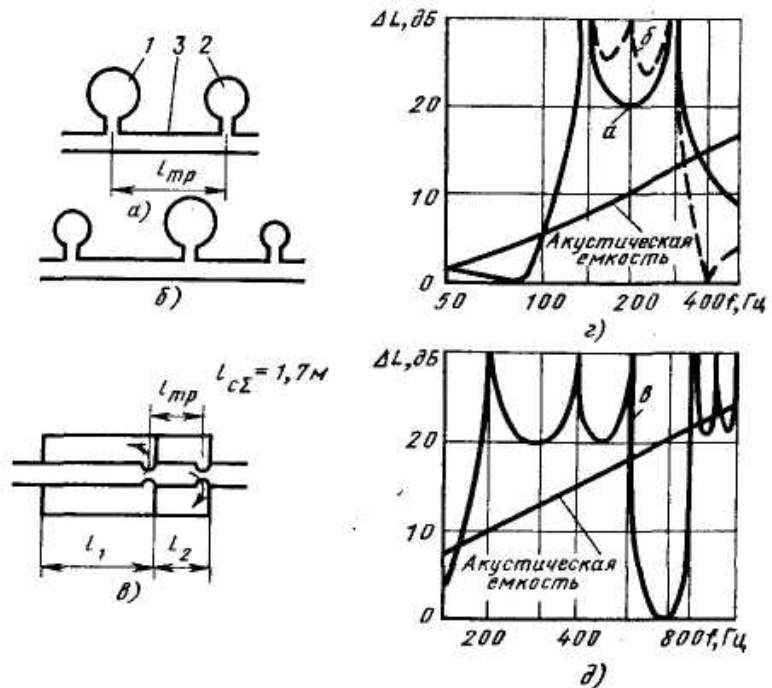
где f, f_p – соответственно возбуждающая и собственная частоты резонатора.

При этом частота акустических волн, излучаемых резонатором лежит в оптимальном диапазоне частот от 15 до 16 кГц с интенсивностью звука от 2 до 3 Вт/сек.



- 1-корпус, 2-коллектор,
3,9-штуцер, 4-дроссельное
отверстие, 5-полость, 6-полый
стержень, 7-корпус
распределительной головки,
8-торцевая выточка,
10-демпфирующая полость,
11-калиброванные отверстия.

Рисунок 2 – Схема акустической форсунки.



- а – система из двух резонаторов Гельмгольца: 1 и 2 – резонаторы; 3 – соединительная труба; б – система из трех резонаторов; в – составной глушитель из четвертьволновых резонаторов; г и д – характеристики систем а, б, в при одинаковом суммарном объеме камер резонаторов.

Рисунок 3 – Системы из резонаторов и их характеристики.

Расчет параметров скруббера начнем с построения I-d диаграммы на примере со следующими техническими условиями на протекание процесса сушки (рисунок 4):

- максимально допустимая температура нагрева в процессе сушки исходного раствора – 110°C ;
- часовая производительность по сухому продукту $G_1=400$ кг/час; начальная и

конечная влажность раствора и продукта $w_1 = 64,3 \%$ и $w_2 = 5 \%$; начальная температура воздуха перед сушилкой $t_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$, температура воздуха за сушилкой $t_2 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$;

Для сушки используется наружный воздух с параметрами:

$$t_0 = -10 \text{ }^\circ\text{C}; d_0 = 1,47 \text{ г/кг}; \phi = 80 \%; I_0 = 1,53 \text{ ккал/кг}.$$

Начальная точка В процесса сушки будет иметь параметры $t_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ и $d_1 = d_0 = 1,47 \text{ г/кг}$ (рисунок 4). Оценим количество подсосываемого воздуха на тракте от сушилки до вентилятора величиной 10 %; тогда количество воздуха, проходящего через скруббер, равно

$$L_{\text{ск}} = 1,1L = 1,1 \cdot 8050 = 8855 \text{ кг/час}.$$

Параметры воздуха, подсосываемого из помещения цеха:

$$t'_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}; \phi'_0 = 80 \%; d'_0 = 12 \text{ г/кг}.$$

Из построения на диаграмме I-d процесса смешения отработанного воздуха сушилки и воздуха из помещения цеха находим параметры воздуха перед скруббером, которые будут: $d'_{\text{ск}} = 64 \text{ г/кг}$, $t'_{\text{ск}} = 93 \text{ }^\circ\text{C}$ (точка М, рисунок 4).

Строим действительный процесс сгущения раствора в скруббере, который, согласно расчету аналогичного процесса сушки, выражается линией ММ'. При определении конечной точки процесса исходим из относительной влажности воздуха за скруббером $\phi''_{\text{ск}} = 60 \%$. Параметры воздуха в точке М' будут: $d''_{\text{ск}} = 77 \text{ г/кг}$, $t''_{\text{ск}} = 62 \text{ }^\circ\text{C}$.

Количество испаряемой влаги в скруббере

$$W_{\text{ск}} = L_{\text{ск}} / 1000 (d''_{\text{ск}} - d'_{\text{ск}}) = 8855 / 1000 (77 - 64) = 115 \text{ кг/час}. \quad (5)$$

Влажность раствора после скруббера

$$w'_1 = (G_1 - G_{\text{сух}} - W_{\text{ск}}) / (G'_1 - W_{\text{ск}}) \cdot 100 = (1065 - 380 - 115) / (1065 - 115) \cdot 100 = 60 \%,$$

что соответствует принятой ранее величине влажности раствора перед сушилкой.

Понижением влажности раствора за счет улавливания пыли продукта из воздушного потока пренебрегаем.

При соответствующей изоляции сушилки принимаем потери тепла в окружающую среду равными $q_5 = 60 \text{ ккал/кг}$, тогда суммарные потери тепла составят

$$\Delta = v_1 - q_m - q_5 = 48 - 11,7 - 60 = 23,7 \text{ ккал/кг}.$$

Теперь для построения действительного процесса сушки на диаграмме I-d определим отрезок Ее (см. рис.4): $Ee = e \cdot f \cdot \Delta / m = 100 \cdot (-23,7) / 500 = -4,8 \text{ мм}$ и из точки В через точку Е проведем прямую линию до пересечения с $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, и получим влагосодержание отработанного воздуха $d_2 = 70 \text{ г/кг}$. Подсчитаем расход сухого воздуха на 1 кг испаренной влаги

$$l = 1000 / (d_2 - d_1) = 1000 / (70 - 1,47) = 14,6 \text{ кг/кг}.$$

При этом часовой расход сухого воздуха составит:

$$L = l \cdot W = 14,6 \cdot 550 = 8050 \text{ кг/час}.$$

В первый период сушки температура поверхности равна температуре мокрого термометра, т. е. $v_n = t_m \approx 53 \text{ }^\circ\text{C}$. Этот период продолжается до тех пор, пока влажность частиц не станет равной гигроскопической, т. е. для данного раствора $w_r^c = 40 \%$ (влажность, отнесенная к абсолютно сухому весу). Исходя из скорости воздуха в скруббере $u_{\text{ск}} = 1 \text{ м/сек}$, определяем диаметр скруббера, равный 1,84 м.

Скруббер работает с рециркуляцией раствора из расчета, чтобы плотность орошения составляла $A = 3 \text{ т/м}^2 \text{ час}$.

Количество распыливаемого раствора

$$G_p = A(\pi D_{\text{ск}}^2) / 4 = 3(3,14 \cdot 1,84^2) / 4 = 7,92 \text{ т/час} = 7920 \text{ кг/час}. \quad (6)$$

Влажность раствора перед скруббером

$$w_{\text{ск}} = (G_1 w_1 + (G_p - G_1) w_1^c) / G_p = (1065 \cdot 64,3 + (7920 - 1065) \cdot 60) / 7920 = 60,7 \%.$$

В скруббере устанавливаем четыре акустические форсунки тонкого распыла (рисунки 2 и 3). Распыление производится при давлении 3,0 ати. Принимая соответствующие размеры форсунки, при которых коэффициент расхода составляет $\mu = 0,5$, определим диаметр выходного сечения форсунки, равный 7,4 мм.

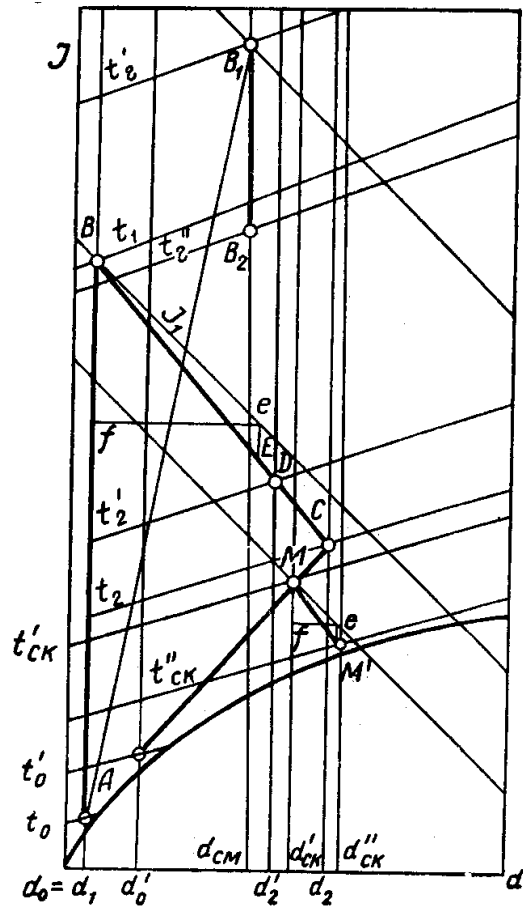


Рисунок 4 – Схема процесса сушки диспергированных материалов на I-d диаграмме.

На рисунке 3 представлены схемы систем, состоящих из резонаторов и их динамические характеристики, отвечающие требованиям резонансных излучателей акустической форсунки, причем каждая из схем включает в себя резонансные отражатели, настроенные на определенный частотный диапазон. Схемы 3а и 3б даны для узкополосных резонаторов при необходимости компенсации мощности излучения в широкополосных резонансных системах, а схема 3в – для синтеза узкополосных систем повышенной эффективности.

Средняя разность температур между воздухом и поверхностью испарения капель раствора равна

$$\Delta t_{cp} = (t'_{ck} - t''_{ck}) / (2,3 \lg ((i'_{ck} - t'_m) / (t''_{ck} - t'_m))) = (93 - 62) / (2,3 \lg ((93 - 49) / (62 - 49))) = 25,5 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7)$$

где t'_m — температура мокрого термометра воздуха в скруббере, равная $49 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Объемный коэффициент теплообмена

$$\alpha_v^{ck} = 95 \cdot A^{0,82} = 95 \cdot 3^{0,82} = 235 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot \text{час} \cdot \text{град}). \quad (8)$$

Количество тепла, переданного от воздуха к распыленному раствору, равно

$$Q_{ck} = W_{ck} (595 + 0,47 t''_{ck} - t'_m) = 115 (595 + 0,47 \cdot 62 - 49) = 66000 \text{ ккал}/\text{час}.$$

Объем скруббера

$$V_{ck} = Q_{ck} / (\alpha_v^{ck} \Delta t_{cp}) = 66000 / (235 \cdot 25,5) \approx 11 \text{ м}^3$$

Рабочая высота скруббера

$$H_{ck} = V_{ck} / F_{ck} = 11,0 / 2,64 = 4,17 \text{ м}. \quad (9)$$

Из построения на диаграмме I-d процесса смешения отработанного воздуха сушилки и воздуха из помещения цеха находим параметры воздуха перед скруббером, которые будут: $d'_{ck} = 64 \text{ г}/\text{кг}$, $t'_{ck} = 93 \text{ } ^\circ\text{C}$ (точка М). Строим действительный процесс сгущения раствора в скруббере, который, согласно расчету аналогичного процесса сушки, выражается

линией MM' . При определении конечной точки процесса исходим из относительной влажности воздуха за скруббером $\phi_{ск}'' = 60\%$. Параметры воздуха в точке M' будут: $d''_{ск} = 77$ г/кг, $t''_{ск} = 62$ °С.

Количество испаряемой влаги в скруббере

$$W_{ск} = L_{ск} / 1000 (d''_{ск} - d'_{ск}) = 8855 / 1000(77 - 64) = 115 \text{ кг/час.} \quad (10)$$

Влажность раствора после скруббера

$$w'_1 = (G_1 - G_{сух} - W_{ск}) / (G'_1 - W_{ск}) 100 = (1065 - 380 - 115) / (1065 - 115) \cdot 100 = 60\%,$$

что соответствует принятой ранее величине влажности раствора перед сушилкой. Понижением влажности раствора за счет улавливания пыли продукта из воздушного потока пренебрегаем.

Исходя из скорости воздуха в скруббере $u_{ск} = 1$ м/сек, определяем диаметр скруббера, равный 1,84 м. Скруббер работает с рециркуляцией раствора из расчета, чтобы плотность орошения составляла $A = 3$ т/м² час.

Количество распыливаемого раствора:

$$G_p = A(\pi D_{ск}^2) / 4 = 3(3,14 \cdot 1,84^2) / 4 = 7,92 \text{ т/час} = 7920 \text{ кг/час.} \quad (11)$$

Выводы.

В работе представлен расчет скруббера с акустическими форсунками, эффект работы которых основан на том, что при резонансном совпадении собственной и возбуждающей частот, амплитуда скорости колебания воздуха в горловине резонатора, резко возрастает, вызывая значительное возрастание мощности падающей звуковой волны. При этом пленка жидкости, перекрывающей выход распыливающего агента из генератора звуковых колебаний, дробится под воздействием акустических колебаний воздуха на мелкие капли, в результате чего образуется факел мелкодисперсного распыленного раствора с воздухом, и повышается скорость сушки на 10 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чунаев М.В., Сажин Б.С., Кочетов О.С., Сажин В.Б. Разработка метода и рациональной схемы комплексной обработки воздуха для повторного использования тепла. Успехи в химии и химической технологии. Т. XIX. № 10 (58). 2005. С. 106-109.
2. Сажин Б.С., Кочетов О.С., Петухова А.В., Боброва Е.О. Эффективность процесса сушки на опытно-промышленном образце аппарата с виброкипящим слоем. В кн.: Материалы Всероссийской НТК студентов и аспирантов «Проблемы экономики и прогрессивные технологии в текстильной, легкой и полиграфической отраслях промышленности», Дни науки 2005. С-П, Гос.универ. технологии и дизайна, 2005.-с.176-179.
3. Кочетов О.С., Костылева А.В., Бородина Е.С., Афолина Е.М. Исследование процесса сушки поливинилацетата бисерного на опытно-промышленном аппарате с виброкипящим слоем. Тезисы докладов международной НТК «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности (Текстиль – 2006)» (28 -29 ноября).- М.: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2006.- С. 231 -231
4. Кесоян Г.А., Кочетов Л.М., Тюрин М.П. Модернизация скруббера на предприятии «РЕАТЕКС». Тезисы докладов международной НТК «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности (Текстиль – 2006)» (28 -29 ноября).- М.: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2006.- С. 234 -235.

Научное издание

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОСЫГИНСКИЙ ФОРУМ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ
«ВТОРЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОСЫГИНСКИЕ ЧТЕНИЯ:
«Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование»,
приуроченные к 100-летию РГУ имени А.Н. Косыгина»

Сборник научных трудов
(Том 1)

29 октября – 1 ноября 2019 года

Технический редактор Бородина Е. С.
Компьютерная верстка и макет Бородина Е. С.

Материалы публикуются в авторской редакции.