

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ  
ПЕРВЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОСЫГИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2017**

**Тематика чтений  
«СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК»**

**VI-ЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ  
«СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ СЭТТ – 2017»**

**проводится при финансовой поддержке Российского фонда  
фундаментальных исследований-проект № 17-08-20544**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ  
(ТОМ 2)**

**МОСКВА  
11-12 ОКТЯБРЯ 2017 ГОДА**

УДК 66.02(06)  
С 56

**СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК** [Текст]: 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. – 298 с.

**ISBN 978-5-87055-533-1**  
**ISBN 978-5-87055-534-8**

В сборник включены научные статьи российских и зарубежных ученых, представленные на Форум, в которых рассматриваются вопросы теории и математического моделирования, пути практической реализации современных эффективных процессов и аппаратов химической, текстильной, лёгкой, пищевой, деревообрабатывающей и других отраслей промышленности и агропромышленного комплекса.

Материалы сборника предназначены для преподавателей вузов, аспирантов, научно-технических и инженерно-технических работников различных отраслей промышленности и агропромышленного комплекса.

**ISBN 978-5-87055-533-1**  
**ISBN 978-5-87055-534-8**  
УДК 66.02(06)

© ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»,  
2017  
© Авторы статей, 2017  
© Обложка. Дизайн. ИП Полежаев П.В.,  
2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>СЕКЦИЯ 1. «ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА»</b> .....	<b>84</b>
<b>Ж. А. ПЕТРОВА, Ю. Ф. СНЕЖКИН, В. М. ПАЗЮК, А. В. ПЕРЕПЕЛИЧНЫЙ</b> ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОРОШКОВ .....	84
<b>Ю. Я. ПЕЧЕНЕГОВ</b> ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СУШИЛЬНО – ВУЛКАНИЗАЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ .....	90
<b>Ю. Я. ПЕЧЕНЕГОВ, А. В. КОСОВ, О. Ю. КОСОВА, Р. В. БОГАТЕНКО</b> КОНДЕНСАТООТВОДЧИКИ ДЛЯ ПАРОПОТРЕБЛЯЮЩЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ШВЕЙНЫХ ПРОИЗВОДСТВ.....	93
<b>С. Р. ЗАКИРОВ, Д. Б. ПРОСВИРНИКОВ</b> ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА В КОРМОВЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.....	97
<b>А. М. САГДАТУЛЛИН</b> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ И НЕФТЕГАЗОТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛЯХ.....	101
<b>А. В. САФИНА, Г. Р. АРСЛАНОВА, А. С. КАЛАШНИКОВА, Л. Ш. АСАЕВА</b> ЭНЕРГО– И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ УСТАНОВКА ЭКСТРАКЦИИ .....	104
<b>Т. В. СУЛТАНОВА</b> АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В РОССИИ.....	107
<b>Е. А. ШУЛАЕВА, Н. С. ШУЛАЕВ, Ю. Ф. КОВАЛЕНКО</b> РАСЧЕТ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ЕДКОГО НАТРА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.....	109
<b>С. В. ГУЖОВ</b> ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО- АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕПЛОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ УЧРЕЖДЕНИЙ ЮВАО ГОРОДА МОСКВЫ .....	112
<b>Д. В. ТУНЦЕВ, М. Р. ХАЙРУЛЛИНА, С. В. КИТАЕВ, Л. Ш. АСАЕВА</b> ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В УГОЛЬ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА .....	116
<b>В. В. ЕРОФЕЕВ, Р. Г. ШАРАФИЕВ, А. Г. ИГНАТЬЕВ, Л. В. МАКАРОВ</b> РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ НА СТАДИИ КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С УГЛОВЫМИ ШВАМИ .....	119
<b>П. П. БЕЗРУКИХ, Ф. А. ПОЛИВОДА, Л. А. ШАТРОВ, Т. И. НАБАТЧИКОВА</b> МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕКТОРА КОММУНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ УСТАНОВОК .....	124
<b>В. В. ЕРОФЕЕВ, Р. Г. ШАРАФИЕВ, А. Г. ИГНАТЬЕВ, Л. В. МАКАРОВ</b> СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ С УГЛОВЫМИ ШВАМИ НА СТАДИИ ИХ КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ .....	128
<b>Л. И. ЛЫТКИНА, Е. С. ШЕНЦОВА</b> РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ КОРМОВЫХ БРИКЕТОВ- ЛИЗУНЦОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ .....	132

<b>А. Е. ПОЛЯКОВ, М. С. ИВАНОВ</b> ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УПРАВЛЯЕМЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	135
<b>В. А. АКАТЬЕВ, Л. В. ВОЛКОВА</b> РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЕФЕКТОСКОПИИ ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ ДЫМОВЫХ ТРУБ	138
<b>А. Е. ПОЛЯКОВ, М. С. ИВАНОВ</b> ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ СЛОЖНЫХ МНОГОМЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	144
<b>М. С. ЕЛИСЕЕВ</b> ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ПРОЕКТУ ЮНИДО «РАЗВИТИЕ РЫНОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОЕМКИХ ОТРАСЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»	148
<b>Д. А. БАРАНОВ, М. Г. БАГОМЕДОВ</b> ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ПАРОВ ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ	151
<b>А. Ю. КОРНЕВ, А. П. ЛИКСУТИНА, С. А. НАГОРНОВ, И. В. БУСИН, Б. Т. АЛИБАЕВ</b> КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	154
<b>И. Н. СОЛОМИН, А. З. ДАМИНОВ, Р. А. САДЫКОВ</b> РАЗРАБОТКА ДЕТАНДЕРА ДЛЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩЕЙ ПО ОРГАНИЧЕСКОМУ ЦИКЛУ РЕНКИНА	160
<b>Р. Р. САФИН, И. Ф. ХАКИМЗЯНОВ, Г. Ф. ХАКИМЗЯНОВА, В. В. ГУБЕРНАТОРОВ</b> ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ	163
<b>П. В. РОТОВ, А. А. СИВУХИН</b> ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ В СИСТЕМЕ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	168
<b>Е. Ю. АЛЕКСАНДРОВА, И. В. ПЕТРУШИНА, Е. О. ЛЕБЕДИНСКИЙ</b> ИЗНОШЕННЫЕ ПОКРЫШКИ КАК ВТОРИЧНЫЙ ЭНЕРГОРЕСУРС В ЦЕМЕНТНЫХ ПЕЧАХ	173
<b>Л. В. МОИСЕЕВА, С. А. ИВАНОВ, Г. Ф. ЕСИНА, И. Н. БЫЧКОВА</b> БИОПОЛИМЕРНЫЙ ХЕМОСОБИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ	176
<b>А. А. ЗАХАРОВА, В. С. САЛТЫКОВА, Л. В. МОИСЕЕВА, М. В. ТОКАРЕВ</b> ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ КОЖЕВЕННО-ОБУВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	179
<b>И. В. ПЕТРУШИНА, Е. Ю. АЛЕКСАНДРОВА, Е. О. ЛЕБЕДИНСКИЙ</b> ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА	182
<b>Е. О. ЛЕБЕДИНСКИЙ, Е. Ю. АЛЕКСАНДРОВА, И. В. ПЕТРУШИНА</b> ПРИМЕНЕНИЕ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕЧАХ	185
<b>В. Е. ПРОСКУРИНА, Т. С. ФАЛАЛЕЕВА, Ю. Г. ГАЛЯМЕТДИНОВ</b> ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЦЕСС ФЛОКУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ	187

<b>А. Б. КАПРАНОВА, А. Е. ЛЕБЕДЕВ, А. М. МЕЛЬЦЕР, С. В. НЕКЛЮДОВ</b> К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ МЕСТНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРИ РАБОТЕ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО РЕГУЛИРУЮЩЕГО КЛАПАНА .....	191
<b>А. Б. КАПРАНОВА, И. И. ВЕРЛОКА, С. В. ФИЛИППОВ, П. А. ЯКОВЛЕВ</b> К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ПОРЦИОННОГО СМЕШИВАНИЯ В АППАРАТЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ТИПА.....	194
<b>И. И. ВЕРЛОКА, М. Н. БАКИН, А. Б. КАПРАНОВА, А. В. БАТАЛИН</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОСТАДИЙНОГО СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ КОМПОНЕНТОВ В ЩЕТОЧНОМ АППАРАТЕ .....	197
<b>М. С. МУЛЛАКАЕВ, В. О. АБРАМОВ, Г. Б. ВЕКСЛЕР</b> МОБИЛЬНЫЙ СОНОХИМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.....	200
<b>Г. В. КАЛАШНИКОВ, О. С. КОРНЕЕВА, А. А. ТОЛКАЧЕВА, О. В. ЧЕРНЯЕВ</b> РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СУХИХ ПРОДУКТОВ БЫСТРОГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ И РЕКУПЕРАЦИИ ВТОРИЧНОГО ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ.....	204
<b>Д. Ю. ПОПОВА</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ .....	209
<b>Р. Р. САФИН, Ш. Р. МУХАМЕТЗЯНОВ</b> ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В ПРОЦЕССАХ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ.....	214
<b>А. В. ГОЛУБЕВ, С. П. ВЕРЕТЕЛЬНИК</b> НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ГАЗИФИКАЦИИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА.....	217
<b>И. В. ЯКОВЛЕВ, А. М. ИСХАКОВА, Е. М. БОЛОТИН</b> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОНОМНЫХ БИВАЛЕНТНЫХ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК .....	221
<b>И. М. НЕСТЕРОВА</b> ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ .....	225
<b>Н. И. МАЛИН, Ю. А. КУЗНЕЦОВА</b> К ВОПРОСУ ВЫБОРА ОЧЕРЕДНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ В СИСТЕМАХ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ .....	228
<b>А. Е. ЛЕБЕДЕВ</b> УДАРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ СО СЛОЕМ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА.....	233
<b>А. А. ЗАЙКИНА, В. В. ПОТЕХИНА, М. В. ГОРЕЛОВ</b> ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ МНОГОСЛОЙНОЙ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ МАЛОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОВОЙ АККУМУЛЯЦИИ .....	235
<b>Ю. Х. ШОГЕНОВ, Ю. М. РОМАНОВСКИЙ</b> ОТКЛИКИ РАСТЕНИЙ НА ДЕЙСТВИЕ ЛОКАЛЬНОГО НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ИНФРАКРАСНОМ И МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНАХ ДЛИН ВОЛН .....	238
<b>В. В. ЕРОФЕЕВ, Р. Г. ШАРАФИЕВ, А. П. ЛЕГОТИН, И. Р. КИРЕЕВ</b> ПОВЫШЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ МАШИН ПУТЕМ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ И ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ИХ ОЧИСТКИ .....	243

<b>А. А. ЗАЙЦЕВ</b> ТРАНСПОРТ В VI ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УКЛАДЕ: ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ .....	248
<b>А. А. АРБАТСКИЙ, В. С. ГЛАЗОВ</b> РАСЧЕТ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ CFD-МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	252
<b>С. А. НАГОРНОВ, Ю. В. МЕЩЕРЯКОВА, И. В. БУСИН, А. Г. МЕЩЕРЯКОВ</b> СИНТЕЗ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ И ИЗОПРОПИЛОВОГО СПИРТА.....	257
<b>В. И. ГУДКОВ, Р. И. СОКОЛОВСКИЙ</b> ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ РЕГЕНЕРАТОРА ТЕПЛА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНЕШНЕГО СГОРАНИЯ.....	260
<b>М. А. МАСТЕР</b> МЕТОДОЛОГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ .....	263
<b>О. Д. БОГАТЫРЕВ</b> СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ БИОБЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	267
<b>О. Д. ЕРОХИНА</b> К ВОПРОСУ О ВЗАИМОСВЯЗИ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ С ЕЁ СТРУКТУРОЙ И ПАРАМЕТРАМИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ .....	269
<b>Л. К. БОГОМОЛОВ</b> О СТАНДАРТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ.....	272
<b>С. Н. ЧЕРПИЦКИЙ, М. Ю. ТАРШИС, Л. В. КОРОЛЕВ</b> РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ И КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ .....	274
<b>СЕКЦИЯ 2. «ИННОВАЦИИ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ. АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА».....</b>	<b>277</b>
<b>П. П. БЕЗРУКИХ</b> РОЛЬ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ИННОВАЦИОННОМ РАЗВИТИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ .....	277
<b>М. Ю. БЕРЁЗКИН, О. А. СИНЮГИН</b> СОВРЕМЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.....	284
<b>Б. Е. БОЛЬШАКОВ, В. С. БУТЦЕВ, Б. В. ГУСЕВ</b> ГЛОБАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И ПРОРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ .....	287
<b>С. В. ВЕНДИН, А. Ю. МАМОНТОВ</b> МНОГОКАМЕРНЫЙ РЕАКТОР НЕПРЕРЫВНОЙ ЗАГРУЗКИ СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА.....	295
<b>В. С. БОГОЛЮБОВ, И. В. МАЛКОВ</b> ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ВЕТРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ.....	298

<b>Р. Г. НИГМАТУЛЛИН, К. Н. ФИОФАНОВ, Р. Ф. ГАЛИЕВ, И. Р. НИГМАТУЛЛИН, Р. Г. ХАМИДУЛЛИН, В. Р. НИГМАТУЛЛИН</b> ИННОВАЦИОННЫЙ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ВИСКОЗИМЕТР ООО «ХИММОТОЛОГ» ....	302
<b>А. Л. ТИМЕРБАЕВА, Р. Р. САФИН, Р. Р. ХАСАНШИН, В. В. ГУБЕРНАТОРОВ</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА НА ЕГО ГАЗИФИКАЦИЮ .....	307
<b>А. В. АРТАМОНОВ, С. В. ПАШКИН, А. В. ФЕДОТОВ, Ю. А. КОЖЕВНИКОВ</b> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ОСНОВЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ ДЕСТРУКЦИИ БИОМАССЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ.....	310
<b>В. В. САФОНОВ, А. Е. ТРЕТЬЯКОВА, А. А. ФОМКИН, С. В. САПОЖНИКОВ</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ МЕТАНА .....	315
<b>О. А. СТЕПАНОВ, П. А. ТРЕТЬЯКОВА</b> ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ Г. ТЮМЕНИ.....	318
<b>А. Л. БИРЮКОВ, Р. А. ШУШКОВ</b> РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ГАЗОГЕНЕРАТОРА С ФОРСАЖНЫМ И АККУМУЛЯТОРНЫМ КОНТУРАМИ .....	323
<b>В. В. САФОНОВ, А. Е. ТРЕТЬЯКОВА, В. Б. ИВАНОВ, И. Д. КАПАЕВА</b> НАНЕСЕНИЕ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ ОТ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЙ НА ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	327
<b>Л. И. ЖМАКИН, Н. М. ШАРПАР</b> СОЛНЕЧНЫЕ ВОДОНАГРЕВАТЕЛИ ИЗ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	330
<b>С. И. БУХКАЛО, О. И. ОЛЬХОВСКАЯ</b> ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ .....	334
<b>Л. И. ЖМАКИН, Н. М. ШАРПАР</b> МЕТОДИКА ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА ВРАЩАЮЩЕГОСЯ РЕГЕНЕРАТОРА.....	338
<b>Т. В. ЦЫГАНОВА, Р. И. СОКОЛОВСКИЙ, А. И. ФЕДОСЕЕВ, А. В. УВАРОВ</b> ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕТАМАТЕРИАЛАХ .....	342
<b>В. Н. ХМЕЛЕВ, С. Н. ЦЫГАНОВ, Р. В. БАРСУКОВ, М. В. ХМЕЛЕВ</b> УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ С ДИСПЕРСИОННОЙ ЖИДКОЙ СРЕДОЙ.....	346
<b>А. С. ЕРМАКОВ</b> О ФОРМИРОВАНИИ ПРОСВЕЩЁННОГО РАЗВИТИЯ ИНДУСТРИИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ .....	350
<b>М. Ю. ЮРКИНА, Л. В. АВЕРЬЯНОВА</b> ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ СТАНЦИЙ ВМЕСТО ТЭЦ.....	355
<b>А. В. ЖАРКОВ, В. Я. ЖАРКОВ</b> КОГЕНЕРАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ И УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ .....	360
<b>М. Ю. СУБОЧЕВА, Е. А. БАЛАШОВА</b> РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ .....	364

**Д. В. ТУНЦЕВ, Э. Е. АНТИПОВА, И. С. РОМАНЧЕВА, А. С. САВЕЛЬЕВ**  
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПИРОЛИЗНОЙ ЖИДКОСТИ БЫСТРОГО  
ТЕРМОКОНДУКТИВНОГО ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ..... 369



# СЕКЦИЯ 1. «ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА»

УДК 664.8.047.014

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ENERGY EFFICIENT HEAT TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF FUNCTIONAL VEGETABLE POWDERS

**Жанна Александровна Петрова\***, **Юрий Федорович Снежкин\***,  
**Вадим Михайлович Пазюк\***, **Александр Витальевич Перепеличный\*\***  
**Zhanna A. Petrova\***, **Yury F. Snezhkin\***, **Vadim M. Pazyk\***, **Oleksandr V. Perepelychnyi\*\***

*\*Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев*

*\*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Kyiv  
(e-mail: bergelzhanna@ukr.net, Isnezhkin@gmail.com.)*

*\*\*Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", Киев*

*\*\*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv  
(e-mail: perepelychnyi@gmail.com)*

*Аннотация:* Получение антиоксидантных порошков заключается в комбинировании белковосодержащих и каротиносодержащих растительных материалов, исследования по сушке которых приведены в статье.

*Abstract:* Production of antioxidant powders is combined protein and contain carotene-containing and of plant materials, research on drying of which is given to in article

*Ключевые слова:*  $d$  – влагосодержание воздуха, г/кг сух. возд.,  $W^c$  – влагосодержание материала, %;  $t$  – температура сушильного агента, °C;  $V$  – скорость сушильного агента, м/с;  $\tau$  – продолжительность процесса сушки, м;  $N$  – максимальная скорость сушки, %/мин; с. в. – сухой воздух Индексы:  $n$  – начальная

*Keywords:*  $d$  - moisture content of air, g / kg dry,  $w_c$  - moisture content of the material, %;  $t$  is the temperature of the drying agent, °c;  $v$  - speed of drying agent, m / s;  $\tau$  - duration of the drying process, m;  $n$  - maximum drying speed, % / min; from. at. - dry air indices:  $n$  - initial

Проблема энергоресурсосбережения является глобальной. Энергетическая мощность мирового производства растет быстрее чем объем промышленного производства. За последние десятилетия промышленная нагрузка на окружающую среду возросла в несколько раз. В то же время в мире ощущается дефицит энергии. Поэтому сегодня повышается значимость энергоресурсосбережения.

Предприятия АПК являются лидерами по количеству энергоресурсов, используемых другими отраслями промышленности. До 20% топливно-энергетических ресурсов в стране используют предприятия АПК. При этом до 30% энергии, а в некоторых случаях и больше, в пищевых перерабатывающих теплотехнологиях возможно сэкономить за счет способов и методов переработки. Многие не понимают, что инвестировать в энергоресурсоэффективные проекты экономически выгодно. Такие инвестиции окупаются достаточно быстро за счет того, что непрерывно снижаются затраты энергии, цена которых, в то же время, практически всегда только повышается. Одним из эффективных путей в этом направлении являются современные технологии, которые дают существенное снижение энергозатрат.

Перевод теплотехнологий на прогрессивные принципы, особенно нанотехнологии, открывает новые возможности совершенствовать производство при значительном снижении расхода энергоресурсов.

С общим ускорением темпов жизни, одним из основных факторов, которые стимулируют появление новых пищевых продуктов, является стремление людей к здоровому образу жизни, который включает и рациональное питание. Функциональные пищевые продукты удовлетворяют эти потребности.

Производство функциональных пищевых продуктов состоит в том, чтобы максимально полезно комбинировать функциональные ингредиенты в одном продукте. Поэтому и производство функциональных пищевых продуктов нельзя вести независимо от первичной (просто пищевой) и вторичной (сенсорной или познавательной) функции пищевых продуктов [1].

Процессом, который обеспечивает стойкость и продолжительность хранения пищевых продуктов и способствует замедлению роста микроорганизмов, также является сушка.

Современные технологии сушки базируются на максимально возможной сохранности основных ингредиентов исходного растительного сырья.

Антиоксидантное сырьё, как объект сушки, очень сложное по своей структуре, физико-химическому и биохимическому составу. Поэтому эффективный режим обезвоживания определяется температурой, максимально-допустимой для данного материала, и минимальной продолжительностью сушки. Гранично-допустимая температура сушки антиоксидантной смеси определяется свойствами белков и каротиноидов, биологическая ценность которых снижается во время интенсивной тепловой обработки [2].

Для сушки функциональных пищевых продуктов было взято антиоксидантное растительное сырьё на основе моркови и белкового сырья, были составлены композиции: овсяно-морковный, сельдерейно-морковный, горохово-морковный и фасолево-морковный в пропорциях 1:2 на сырой вес. У моркови, овсянки и бобовых различная начальная влажность, что в свою очередь влияет на содержание каротиноидов и длительности процесса сушки в сторону увеличения при существенном преобладании моркови в смеси. Соотношение компонентов моркови и белково- и овсяносодержащих смесей в пропорции 1:2 является оптимальным с точки зрения входящих в них полезных составляющих и технологичности процесса.

Сушка антиоксидантного растительного сырья производилось на экспериментальной конвективной сушилке с регистрацией температуры сушильного агента, изменением массы образца и энергетических затрат на сушку.

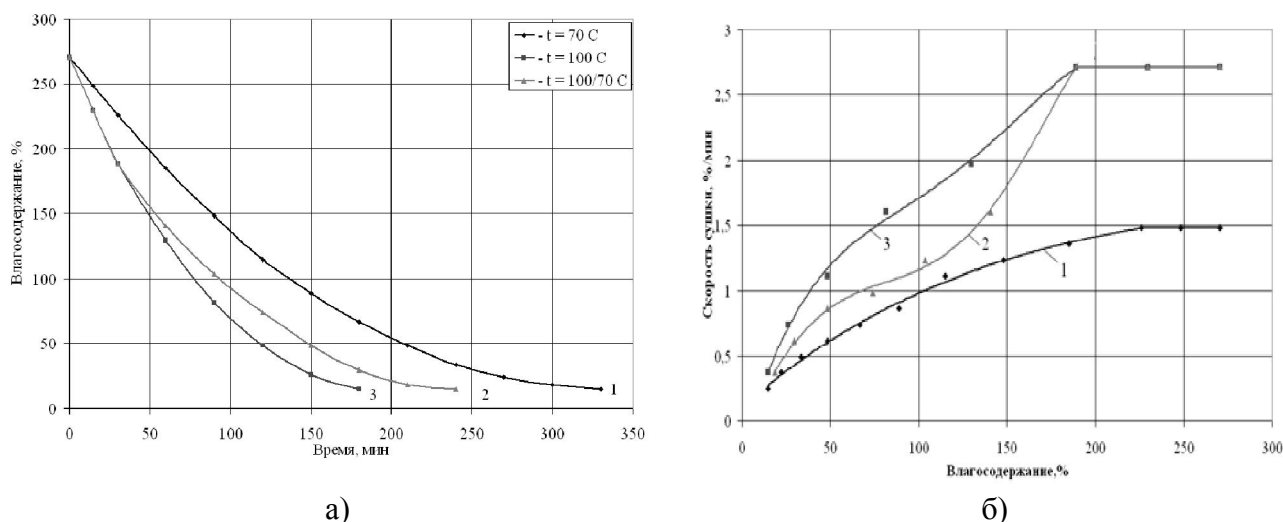
Кинетику процесса сушки антиоксидантного растительного сырья проводили при температуре сушильного агента 70, 100°C и ступенчатого режима 100/70°C. Сушку растительных продуктов проводили в слое 10 мм с начальным влагосодержанием смеси 270%, скорость воздуха в сушильной камере составляла 1,5 м/с.

Ранее нами проводились исследования по сушке каротиносодержащего сырья моркови и тыквы [3]. Оптимальной температурой сушки моркови является 70°C и ступенчатый режим 100/70°C. Поэтому для антиоксидантного сырья, основу которого составляет морковь выбираем аналогичные режимы сушки.

Антиоксидантное сырьё на основе овса, гороха и фасоли содержит от 20 до 32% белка, в процессе переработки такого сырья происходит неферментативный браунинг. Реакция между свободными аминокруппами, белками, пептидами и карбонильными группами свободного сахара называется реакцией Майляра. Реакция Майляра является основной реакцией которая отвечает за качество белков, т.е. приводит к уменьшению усвояемости белков и аминокислот [4,5].

Во время продолжительного влияния температуры на макромолекулу белка происходит его денатурация и взаимосвязь сахаров с аминокислотами. Промежуточный этап этой реакции характеризуется образованием азотсодержащих коричневых полимеров, известных как меланоиды. Температурным порогом после которого происходит неферментативный браунинг есть температура материала 70°C. Поэтому сушку антиоксидантного сырья проводили при температуре, которая максимально сохраняет белки и каротиноиды.

Результаты экспериментальных исследований сушки антиоксидантного сырья от влияния температуры сушильного агента представлены на рис. 1.



**Рис. 1. Кинетика сушки антиоксидантной смеси в слое 10 мм при температуре сушильного агента: 1 – 70°C, 2 – 100/70°C, 3 – 100°C при  $W_n^c = 270\%$ ;  $V = 1,5$  м/с;  $d = 10$  г/кг с. в.**

Кривые скорости сушки показывают, что с увеличением температуры сушильного агента интенсивность процесса увеличивается. Продолжительность сушки антиоксидантных материалов при температуре 100°C уменьшается на 67% по сравнению с продолжительностью процесса при температуре 70°C.

Также, был предложен ступенчатый режим сушки, при котором температура сушильного агента изменяется в процессе. В начале сушки температура сушильного агента 100°C, через 30 мин после сушки температуру понижают до 70°C и поддерживают на таком уровне до конца процесса. Ступенчатый режим сушки позволяет сократить продолжительность сушки в сравнении с температурой 70°C на 37,5%.

Кривые скорости сушки антиоксидантного сырья показывали, что в начале процесса присутствует период постоянной скорости сушки на протяжении 30 мин (рис. 2,б), а затем скорость сушки снижается. Так скорость сушки при температуре сушильного агента 100°C и в ступенчатом режиме в первом периоде сушки по сравнению с температурой 70°C увеличивается в 1,8 раза.

Ступенчатый режим сушки, как видно из кривых сушки (рис. 2), протекает медленнее чем при температуре 100°C на 25%, однако удельные затраты меньше на 21% и на 29%, чем при режиме 70°C (рис.3).

Уменьшение удельных затрат в ступенчатом режиме объясняется тем, что энергия максимально используется на испарение влаги из материала и минимально на нагрев материала.

Определение длительности процесса сушки проводились по методам обобщенных кривых сушки разработанных В.В. Красниковым и В.А. Даниловым [6].

По методу Красникова В.В. определялась длительность при режимах сушки 70°C и 100°C. Метод, основанный на определении максимальной скорости сушки, построен в системе координатах  $W^c - (N_{\max} \tau)$  и трансформируется в одну обобщенную кривую сушки антиоксидантной смеси (рис. 3,а).

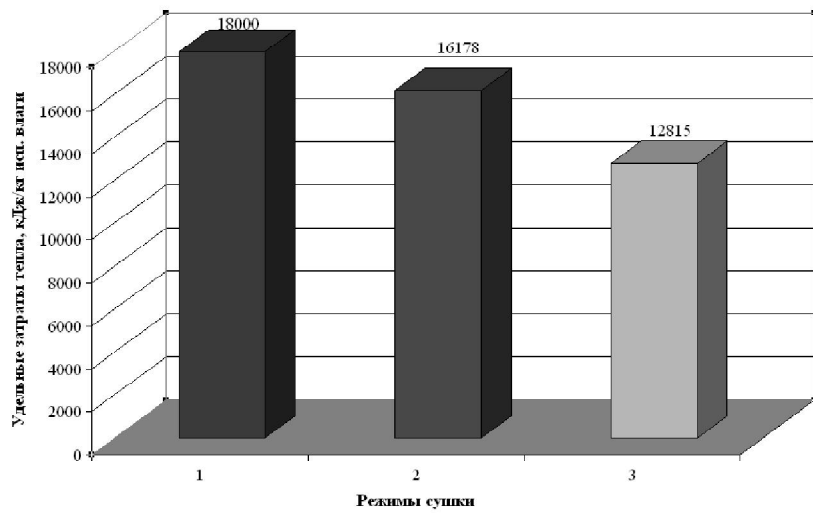


Рис. 2. Удельные затраты тепла в зависимости от режима сушки: 1 – 70°C, 2 – 100/70°C, 3 – 100°C при  $W_n^c = 270\%$ ;  $V = 1,5$  м/с;  $d = 10$  г/кг с. в.

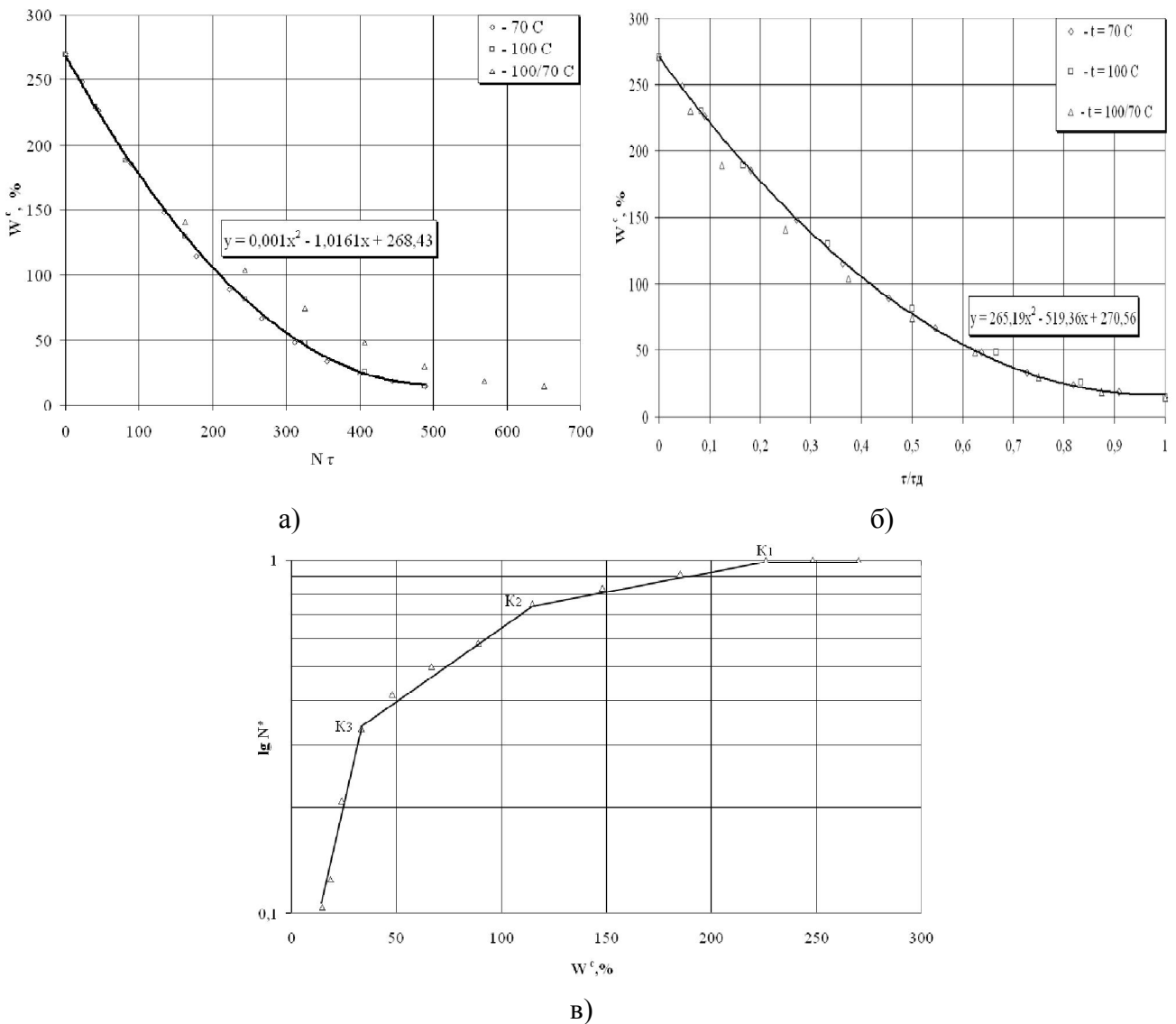


Рис. 3. Обобщенные кривые сушки в системах координат  $W^c - (N \tau)$ (а) и  $W^c - (\tau/\tau_d)$  (б) и обобщенная кривая скорости сушки  $\lg N^* - W$  (в)

Продолжительность процесса сушки для режимов сушки 70°C и 100°C определяется с обобщенной кривой сушки. Необходимое время обезвоживания имеет вид:

$$\tau_D = \frac{N\tau}{N} = \frac{487,8}{N}. \quad (1)$$

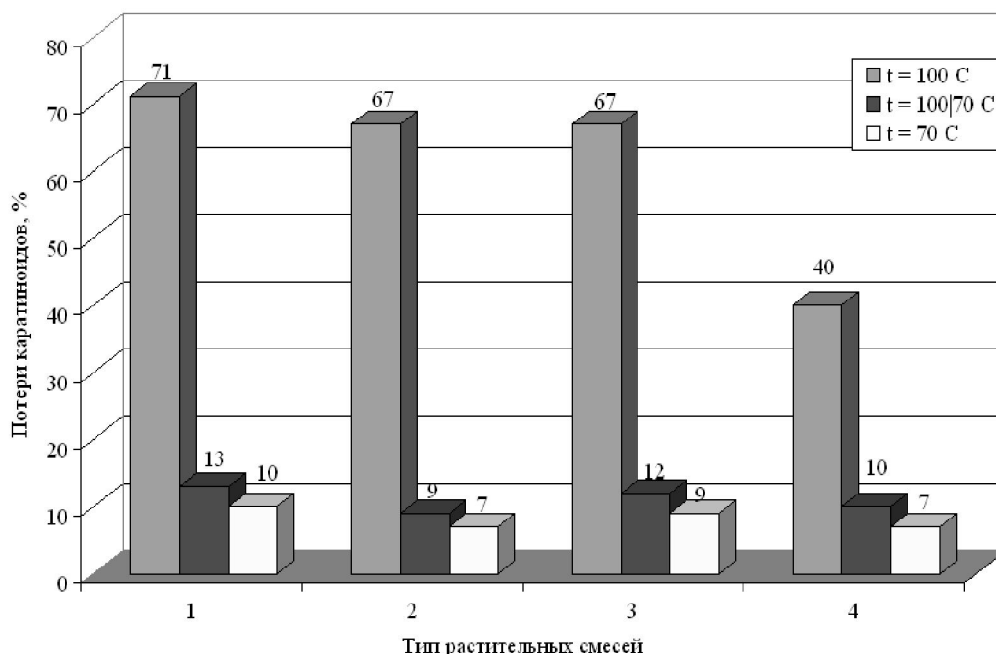
Для получения обобщенной кривой для режимов сушки 70°C и 100°C и ступенчатого режима сушки 100/70°C, длительность процесса определялась по методу, предложенному В.А. Даниловым. На рис. 4,б изображена обобщенная кривая сушки антиоксидантной смеси в системе координат  $W^c - (\tau/\tau_D)$ . Обобщенные кривая сушки в режимах сушки 70 и 100°C хорошо совпадают, а при ступенчатом режиме 100/70°C вначале сушки есть небольшое отклонение.

Используя обобщенную кривую кинетики сушки антиоксидантной смеси в системе координат  $W^c - (\tau/\tau_D)$ , необходимо знать одно значение  $W^c$  и соответственное время  $\tau$ . Тогда с обобщенной кривой скорости сушки для этого  $W^c$  находим отношение  $(\tau/\tau_T)_W$ , по которому определяем продолжительность сушки  $\tau_T$  за формулой:

$$\tau_T = \frac{\tau}{(\tau/\tau_T)_W} \quad (2)$$

Графическое дифференцирование обобщенной кривой кинетики сушки антиоксидантной смеси (рис. 4,б), позволило получить обобщенную кривую скорости сушки в логарифмических координатах от влагосодержания материала (рис. 4,в). На кривой скорости сушки отчётливо видно участок постоянной скорости сушки и участок падающей скорости сушки состоящей из 3-х частей второго периода, отмеченные критическими точками  $K_1, K_2, K_3$ .

Выбор режима сушки антиоксидантного растительного сырья зависит не только от удельных затрат на сушку, но и от качественных характеристик – количество каротиноидов в зависимости от режимов сушки (рис. 4).



**Рис. 4. Потери каротиноидов в зависимости от температуры сушильного агента при сушке следующих растительных смесей: 1 – овсяно-морковной; 2 – сельдерейно-морковной; 3 – фасолево-морковной; 4 – горохово-морковной.**

Повышение температуры сушильного агента до 100°C ведёт к увеличению температуры материала, что приводит к увеличению потерь каротиноидов (визуально видно, что на

поверхности смеси образуется коричневатый оттенок). Это характерный признак образования меланоидов, что свидетельствует о плохом качестве продукта. Наибольшие потери в смеси овсяно-морковной 71%, смеси сельдерейно-морковной и фасолево-морковной 67%, а в горохово-морковной – 40%.

Наилучшие результаты сохранения каротиноидов после сушки, для антиоксидантного растительного сырья, получены при тепловом режиме 70°C и ступенчатом режиме 100/70°C при этом потери составляют всего 7 – 13% (оттенок смеси после сушки существенно не отличается от исходной).

Как видно из проведённых исследований по сушке каротиносодержащего сырья на основе моркови, жиро- и белкосодержащих бобов и овсянки, потери каротиноидов составляют 7 – 10% при режиме 70°C и 9 – 13% при ступенчатом режиме 100/70°C.

Каротиноиды как ненасыщенные углеводороды с достаточно длинной цепью конъюгированных двойных связей самоокисляется на воздухе и свете, легко расщепляется под действием различных окислительных агентов [7]. Купажирование каротиносодержащего сырья жирами, витамином Е, протеинами замедляет процесс окисления каротиноидов. Действие ферментов уменьшается за счёт гигротермической обработки материала [8].

После предварительной гигротермической обработки каротиносодержащего сырья проводят сушку по ступенчатому режиму. В результате чего происходит сохранение каротиноидов на 87 – 90%, сокращается продолжительность сушки на 37,5% и энергетические затраты на 21 – 29%.

#### **Выводы**

1. Сушка антиоксидантного сырья по ступенчатому режиму 100/70°C позволяет сократить продолжительность процесса по сравнению с температурой 70°C на 37,5%, сохранив высокое содержание каротиноидов.

2. Ступенчатый режим сушки 100/70°C протекает медленнее чем при температуре 100°C на 25%, однако удельные затраты энергии меньше на 21% и на 29% меньше чем при режиме 70°C.

3. При сушке каротиносодержащего сырья на основе моркови, жиро- и белкосодержащих бобов и овсянки, потери каротиноидов составили 7 – 10% при режиме 70°C и 9 – 13% при ступенчатом режиме 100/70°C.

4. Рекомендован ступенчатый режим сушки 100/70°C. Этот режим сушки сохраняет высокое содержание каротиноидов и энергоэффективен.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Scala J.* Making the Vitamin connection, the Food Supplement Story. – NY: Harper and Row, 1985.

2. *Снежкін Ю.Ф.* Теплообмінні процеси під час одержання каротиновмісних порошків / *Ю.Ф. Снежкін, Ж.О. Петрова* – Київ: Академперіодика, 162 с.

4. *Marshall MR, Kim J, Wei C-I.* 2000. *Enzymatic browning in Fruits, Vegetables and Seafoods.* <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/ags/Agssi/ENZYMEDI>

5. *Fennema OR.* 1976. In: *OR Fennema, editor, Principles of Food Science.* New York, Marcel Dekker.

6. *Данилов В.А.* Высокоинтенсивная конвекционная сушка бумаги и картона / *В.А. Данилов, В.В. Красников* – М.: Колос, 1970. – 432 с.

7. *Лобов В.П., Петров И.А.* Хромопласты.- К.: Наукова думка, 1987.-125 с.

8. *Снежкін Ю.Ф., Михайлик Т.О., Хавін О.О., Петрова Ж.О.* Вплив гіротермічної обробки на зміну харчових та споживчих властивостей соєво-овочевих концентратів// Наукові праці Укр. держ. університету харчових технологій за матеріалами V11 Міжнародної конференції “Пріоритетні напрями впровадження в харчову промисловість сучасних технологій, обладнання та нових видів продуктів оздоровчого та спеціального призначення” № 1.- Київ, 2001.- С. 66 – 67.

УДК 621.1:620.92.004.14(075.8)

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СУШИЛЬНО – ВУЛКАНИЗАЦИОННАЯ УСТАНОВКА  
ДЛЯ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ  
ENERGY EFFICIENT DRYING – VULCANIZING INSTALLATION FOR RUBBER  
PRODUCTS**

**Юрий Яковлевич Печенегов  
Yuri Ya. Pechenegov**

*Энгельсский технологический институт (филиал)  
Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А.,  
Россия, Энгельс  
Engels Technological Institute (branch) Saratov State Technical University. Gagarina Yu.A.,  
Russia, Engels  
(e-mail: y.pechenegov@mail.ru)*

*Аннотация:* Предложена новая энергоэффективная сушильно-вулканизационная установка для резиновых изделий, дано описание конструкции и работы установки, приведены преимущества ее по отношению к известным аналогам.

*Abstract:* A new energy-efficient drying and vulcanization plant for rubber products is proposed, a description of the design and operation of the unit is given, its advantages in relation to known analogs are given.

*Ключевые слова:* сушка и вулканизация резиновых изделий, энергоэффективность, установка.

*Keywords:* Drying and vulcanization of rubber products, energy efficiency, plant.

Используемые в настоящее время в резино-технической промышленности установки для непрерывной сушки и вулканизации маканых изделий из латекса имеют высокую металлоемкость и габариты [1]. В отечественной промышленности распространены сушильно – вулканизационные установки (СВУ) туннельного (конвейерного) типа с преимущественно поперечным движением нагретого до  $100 \div 150 \text{ } ^\circ\text{C}$  воздуха - сушильного агента в отдельных секциях по длине туннеля. Длина таких СВУ достигает 50 м, а туннель в поперечном сечении имеет размеры  $1,33 \times 0,97$  м. Термическая обработка воздухом перемещаемых в туннеле изделий в виде пленочного покрытия на фарфоровых либо стальных формах осуществляется путем конвективного тепло-и массопереноса, имеющего низкую интенсивность. Участок туннеля, на котором идет процесс вулканизации изделий, работает по неэффективной в теплотехническом отношении схеме прямотока. Отсутствует организованное удаление из туннеля паров влаги, образующихся при сушке изделий. Аккумулированная готовыми изделиями и нагретыми формами теплота не используется. Тепловой к.п.д. обработки изделий в таких установках не превышает 10 %.

С целью повышения энергоэффективности, интенсивности теплообмена и уменьшения габаритов установки, а также обеспечения организованного удаления образующихся при сушке изделий паров влаги и возможности регулирования тепловых потоков на участках по длине туннеля нами разработана новая СВУ [2] (рисунок 1).

Установка работает следующим образом. Движение конвейера с обрабатываемыми изделиями на формах осуществляется через тоннель циклично, с шагом кратным длине балок-оснований. В период движения диафрагмы на торцах тоннеля открыты, в период прекращения движения – закрыты. Навстречу движению изделий с формами в тоннеле перемещается свежий воздух от места его ввода из воздуховода 6 и рециркуляционный воздух, поступающий из воздуховода 7. Свежий воздух охлаждает обработанные изделия с формами перед их выводом из тоннеля и это позволяет возвратить с подогретым воздухом

часть содержащейся в изделиях и формах теплоты в зону вулканизации. Подогретый свежий воздух догревается до заданной технологией обработки изделий температуры, вступая по пути следования в непосредственный контакт с трубчатыми нагревателями. При обтекании горячим воздухом изделий и форм идет процесс их нагрева путем конвективного теплообмена, а основная часть теплоты, необходимой для сушки и вулканизации изделий, передается к их поверхности излучением от нагревателей.

На необогреваемом участке тоннеля со стороны выхода потока воздуха с парами испаренной влаги содержащаяся в потоке теплота передается вводимым в тоннель изделиям с формами. После завершения процесса утилизации теплоты потока воздуха он выводится из тоннеля и через воздухопровод 8 поступает к вентилятору. На стороне нагнетания вентилятора часть потока воздуха сбрасывается в окружающую среду через сбросной воздухопровод 9, а оставшаяся часть потока направляется в тоннель по рециркуляционному воздухопроводу 7. Регулирование расходов воздуха направляемых на сброс через воздухопровод 9 и на рециркуляцию через воздухопровод 7 производится с помощью дроссельных заслонок.

Размещение нагревателей непосредственно в тоннеле предлагаемой установки позволяет дополнительно к конвективному использовать лучистый перенос теплоты к обрабатываемым изделиям. Для интенсификации лучистого теплообмена между изделиями и нагревателями, последние выполнены в виде трубчатых панелей коллекторного типа. В трубах панелей циркулирует греющий теплоноситель, преимущественно водяной пар. Наличие между смежными трубами панелей приварных проставок обеспечивает равномерное распределение плотности теплового потока излучением по площади панелей. Все это в совокупности приводит к повышенной интенсивности теплопереноса и создает предпосылки для уменьшения габаритов устройства.

Наличие подающего и сбросного воздухопроводов дает возможность обеспечивать и регулировать подачу свежего воздуха в тоннель и выпуск из тоннеля паров удаленной из обрабатываемых изделий влаги. При этом устраняется неорганизованный выход паров в атмосферу производственного помещения через щели и неплотности диафрагм на торцах тоннеля. Уменьшается парциальное давление паров в сушильном агенте, что способствует ускорению высушивания обрабатываемых изделий.

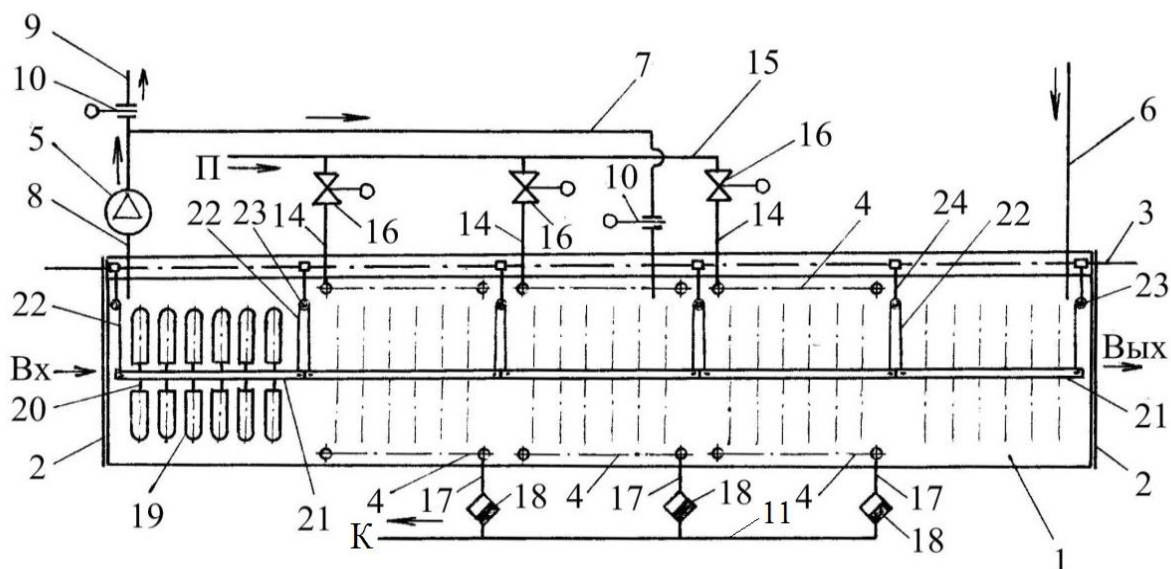
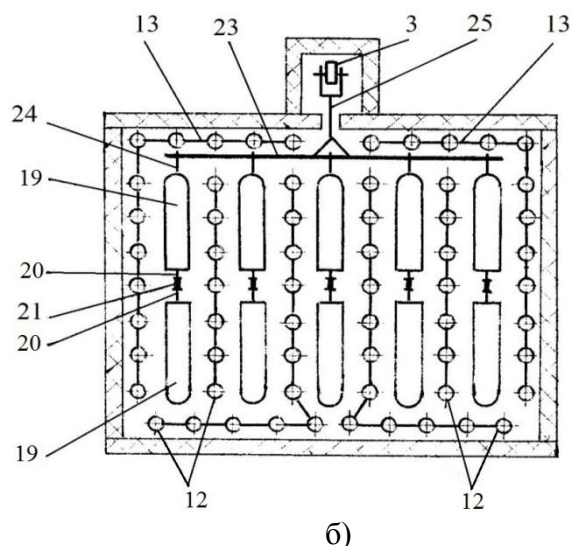


Рис. 1. а)





**Рис.1. Схема сушильно–вулканизационной установки [2]:**

**а) – продольный разрез; б) – поперечный разрез;**

1 – туннель; 2 - диафрагмы на торцах; 3 - тяговая цепь конвейера; 4 – трубчатые нагреватели; 5 - вентилятор; 6 и 7 - подающий и рециркуляционный воздухопроводы; 8 и 9 - отсасывающий и сбросной воздухопроводы; 10 - дроссельные заслонки; 11 – сборный конденсатопровод; 12 – трубы; 13 - приварные проставки; 14 - ввод греющего водяного пара; 15 - общий паропровод; 16 - регуляторы давления пара; 17 - выходы конденсата; 18 - конденсатоотводчики; 19 – формы с изделиями; 20 – стойки; 21 - балки-основания; 22, 24, 25 – подвесы; 23 – траверсы; Вх и Вых – вход и выход обрабатываемых изделий на формах соответственно; П – греющий водяной пар; К – конденсат

Размещение секций панелей нагревателей только в средней части туннеля повышает энергоэффективность производства изделий. В приторцевых зонах, не имеющих нагревательных панелей, с одной стороны туннеля осуществляется утилизация части теплоты сушильного агента путем передачи этой теплоты вводимым в туннель изделиям с формами, а с другой его стороны утилизируется теплота нагретых изделий и форм, путем ее передачи свежему воздуху, поступающему в туннель.

Секционирование панелей нагревателей обеспечивает возможность регулирования тепловых потоков на участках по длине туннеля в соответствии с требованиями технологии обработки изделий. Регулирование осуществляется путем изменения давления греющего водяного пара при его вводе в каждую из секций.

Предлагаемая СВУ имеет следующие преимущества:

- высокая интенсивность тепловой обработки изделий за счет подвода теплоты к их поверхности дополнительно к конвективному механизму еще и путем излучения с равномерным распределением плотности теплового потока по площади излучающей поверхности;
- противоточное движение изделий и воздуха на всей длине туннеля обеспечивает повышенную разность температур в процессе теплопередачи, что способствует уменьшению длины туннеля;
- повышенная интенсивность высушивания изделий за счет низкого парциального давления паров удаляемой влаги в сушильном агенте;
- простое регулирование температурного и теплового режимов в туннеле;
- высокая энергоэффективность.

Расчетная величина теплового к.п.д. предлагаемой СВУ составляет 69 %, что значительно превышает аналогичный показатель для используемых в промышленности устройств подобного назначения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лукомская А.И., Баденков П.Ф., Кеперша Л.М. Тепловые основы вулканизации резиновых изделий.- М.: Химия, 1972. 182 с.
2. Печенегов Ю.Я., Сопляченко В.Н. Сушильно-вулканизационное устройство для резиновых изделий. Патент на изобретение №2581415 (RU), Кл. МПК-В 29 С 35/04. Б.И. № 11, 20.04.2016.

УДК 621. 175: 658. 2

## КОНДЕНСАТООТВОДЧИКИ ДЛЯ ПАРПОТРЕБЛЯЮЩЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ШВЕЙНЫХ ПРОИЗВОДСТВ STEAM TRAPS FOR STEAMUSING TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR SEWING PRODUCTION

**Юрий Яковлевич Печенегов\***, **Андрей Викторович Косов\*\***, **Ольга Юрьевна Косова\*\***,  
**Роман Витальевич Богатенко\*\*\***  
**Yuri Ya. Pechenegov\***, **Andrey V. Kosov\*\***, **Olga Yu. Kosova\*\***, **Roman V. Bogatenko\*\*\***

*\*Энгельсский технологический институт (филиал)*

*Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А.,  
Россия, Энгельс*

*\*Engels Technological Institute (branch) Saratov State Technical University. Gagarina Yu.A.,  
Russia, Engels*

*(e-mail: y.pechenegov@mail.ru),*

*\*\* ООО «Газпром трансгаз Саратов»*

*\*\* Limited Liability Company «Gazprom transgaz Saratov»*

*(e-mail: kosov-av76@mail.ru)*

*\*\*\* ООО «Строй Сервис-2»*

*\*\*\* Limited Liability Company "Stroy Service-2"*

*(e-mail: roman\_grom@rambler.ru)*

*Аннотация:* Предложена новая конструкция конденсатоотводчиков, рекомендуемых для использования в швейных производствах, приведена рабочая диаграмма, позволяющая определять основные характеристики конденсатоотводчиков.

*Abstract:* A new design of steam traps recommended for use in sewing industries is proposed, a working diagram is provided that allows to determine the main characteristics of steam traps.

*Ключевые слова:* конденсатоотводчик, водяной пар, энергоэффективность.

*Keywords:* Steam trap, steam, energy efficiency

Использование технологического пара на предприятиях швейной промышленности сопровождается значительными его потерями [1], что в условиях постоянного удорожания энергоресурсов делает актуальной задачу устранения данных потерь. Одним из путей ее решения состоит в оснащении паропотребляющего технологического оборудования эффективно работающими конденсатоотводчиками. Для обеспечения устойчивости и надежности работы каждая паропотребляющая единица технологического оборудования должна иметь свой конденсатоотводчик, устанавливаемый на линии выпуска конденсата и являющийся автоматическим клапаном для отвода конденсата.

Особенность паропотребляющего технологического оборудования швейной промышленности (утюжильные столы, утюжильные рабочие места, прессы и др.) заключается в малом единичном потреблении пара, составляющем единицы и десятки кг/ч. Пар используется с избыточным давлением до 0,5 – 0,6 Мпа в насыщенном состоянии. На предприятиях получили распространение термодинамические конденсатоотводчики,

которым присущ целый ряд органических недостатков, приводящих в процессе работы к пропуску вместе с конденсатом от 10% и выше несконденсировавшегося пролетного пара [2]. Кроме того, так как единичное потребление пара мало, то диаметр клапанного отверстия в термодинамических конденсатоотводчиках тоже мал и он менее 1 мм. Это приводит к частой засоряемости и необходимости чистки отверстий, создает проблемы запуска в работу после ночных перерывов подачи пара в систему, затрудняет эксплуатацию паропотребляющего оборудования, снижает надежность отвода конденсата и приводит к дополнительным потерям пролетного пара, который проходит вместе с конденсатом через конденсатопровод в конденсатный бак котельной и далее через свечу бака выходит в атмосферу.

Потери с пролетным паром могут быть устранены путем замены термодинамических конденсатоотводчиков за паропотребляющим оборудованием на конденсатоотводчики [3] с дросселирующим элементом в виде набора последовательно установленных по ходу потока шайб (рис.1,а). Шайбы дистанционируются друг от друга с помощью уплотнительных прокладок и имеют по одному отверстию диаметром  $d_0$ . На смежных шайбах отверстия смещены в радиальных направлениях. Данные конденсатоотводчики не имеют движущихся элементов и поэтому обладают повышенной надежностью. Диаметр отверстий в шайбах для прохода конденсата не менее 1 – 2 мм, что создает предпосылки малой их засоряемости.

Принцип действия конденсатоотводчиков основан на существенно различных массовых расходах конденсата и пара при истечении через отверстие. Вследствии того, что удельный объем пара во много раз больше удельного объема воды, пропускная способность отверстия, выраженная в весовых единицах, для пара во много раз меньше, чем для конденсата.

Предложенные конденсатоотводчики просты по устройству, легко разбираются и чистятся от загрязнений. Преимуществом является и то, что конденсатоотводчики, устанавливаемые за теплообменными устройствами с различными тепловыми мощностями, имеют одинаковое конструктивное исполнение и размеры. Отличие состоит только в величине диаметра отверстий в шайбах и числе однотипных шайб дроссельного элемента. Это упрощает и удешевляет их изготовление, обеспечивает полную взаимозаменяемость и позволяет сравнительно легко при необходимости настраивать конденсатоотводчик для работы за индивидуальным паропотребляющим аппаратом путем изменения числа шайб в их наборе с отверстиями определенного размера.

Поток конденсата с расходом  $G$  поступает к первой по ходу потока шайбе, имея давление  $p_1$ , равное давлению пара подаваемого в установку. Температура поступающего потока равна температуре насыщения при давлении входа  $p_1$ . При прохождении через отверстие в шайбе поток теряет часть давления и оказывается перегретым по отношению к температуре насыщения при пониженном давлении за шайбой. По этой причине поток конденсата за шайбой частично вскипает с образованием вторичного пара. За каждой последующей шайбой, при понижении давления потока, количество вторичного пара в нем увеличивается. Данная особенность в работе конденсатоотводчика приводит к тому, что отверстия в шайбах становится возможным выполнять увеличенного диаметра.

Методика расчета конденсатоотводчиков [3] приведена в [4, 5]. На рис.1,б представлена полученная расчетом диаграмма в виде зависимости числа  $N$  последовательно установленных шайб в дросселирующем элементе конденсатоотводчика от диаметра отверстий  $d_0$  в шайбах.

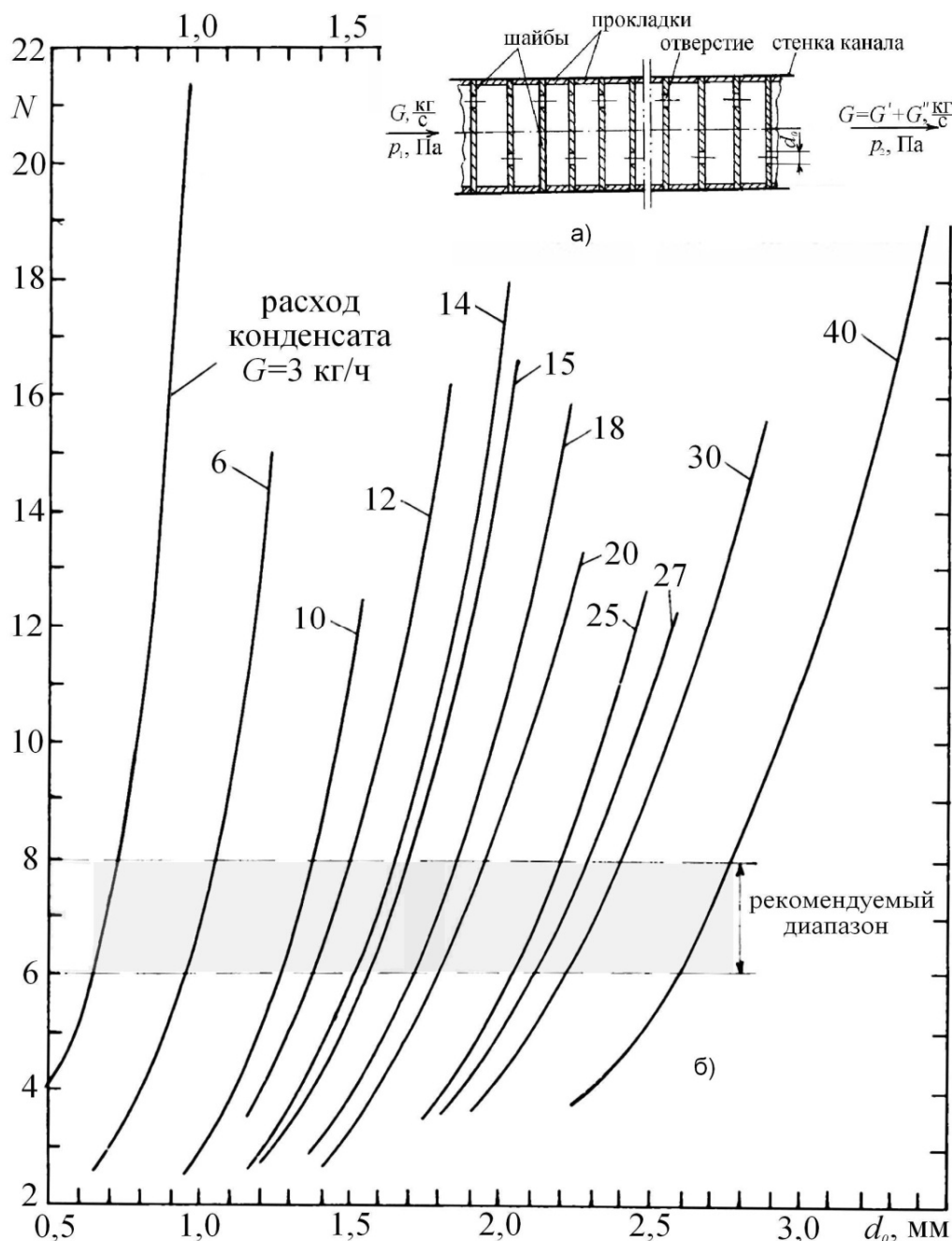
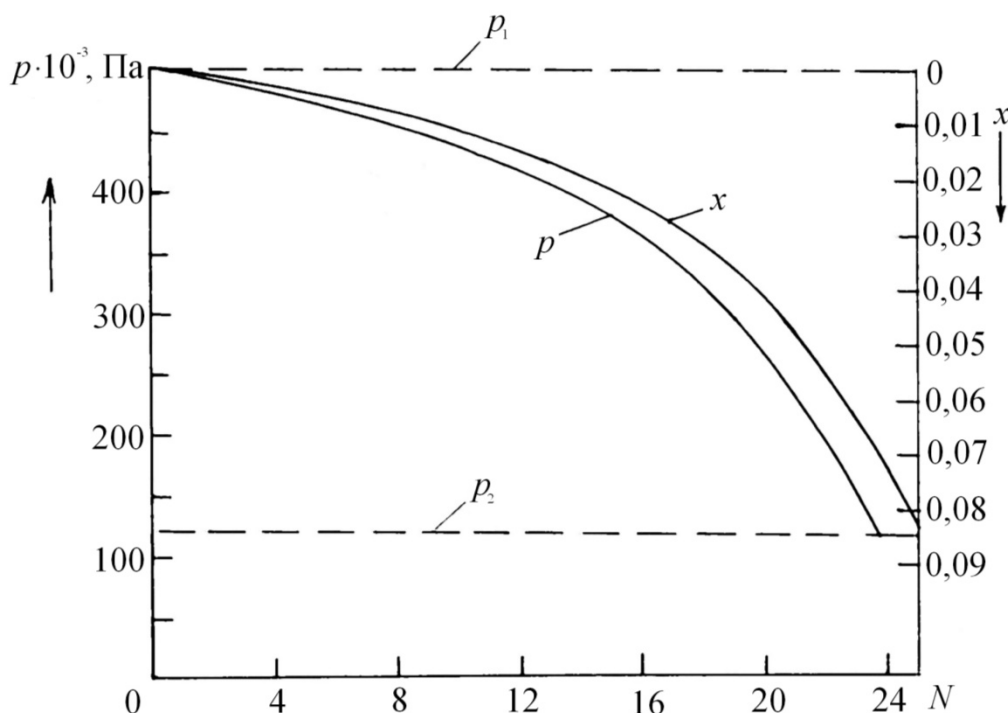


Рис.1. Схема дроссельного элемента (а) и рабочая диаграмма (б) конденсатоотводчика:  
 $p_1=5 \cdot 10^5$  Па;  $p_2=1,2 \cdot 10^5$  Па

В качестве параметра принят расход потока насыщенного конденсата  $G$ , соответствующий расходу пара для отдельных групп технологического оборудования швейных производств. Из рис.1,б видно, что увеличение диаметра  $d_0$  отверстий и достижение при этом уменьшения вероятности их засорения приводит к росту числа  $N$  шайб, нежелательному по соображениям удобства наладки, обслуживания и чистки конденсатоотводчиков. Как компромиссный вариант можно рекомендовать назначать  $N=6-8$ .

Из расчетных кривых приведенных на рис. 2 следует, что падение давления потока на конечных (хвостовых) шайбах значительно выше, чем на начальных по ходу потока. Это обусловлено ростом паросодержания потока  $x$ , кг/кг смеси, по мере расширения потока и особенностями гидравлического сопротивления двухфазного потока "жидкость-пар".



**Рис. 2.** Изменение давления потока  $p$  и паросодержания  $x$  по длине конденсатоотводчика:  $G=3$  кг/ч;  $d=8$  мм;  $d_0=1$  мм

Промышленные испытания предложенных конденсатоотводчиков [3] проводились на швейной фирме ОАО "Элегант" (г. Ульяновск). В результате испытаний установлено, что методика расчета конденсатоотводчиков [4,5] адекватно отражает реальные условия их работы. Полученные данные показывают, что при колебаниях расхода пара (конденсата) во время работы утюжильного и прессового технологического оборудования в пределах до 30% от номинальной величины, потери с пролетным паром для таких конденсатоотводчиков будут не выше 1%.

В отличие от термодинамических, предложенные конденсатоотводчики способны адекватно реагировать на изменение в определенных пределах тепловой нагрузки паропотребляющего аппарата и пропускать переменные расходы конденсата.

Выполненные оценки показывают, что использование разработанных новых конденсатоотводчиков взамен термодинамических позволит сократить полную выработку пара в котельной швейного предприятия в зимнее время не менее, чем на 10% за счет устранения потерь с пролетным паром. В летнее время, когда котельная не несет отопительную нагрузку, использование предложенных конденсатоотводчиков снижает выработку пара на 30 - 50%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмичев В.Е. Оборудование для влажно-тепловой обработки одежды: Справочник. М.: «В зеркале», 2004. 240 с.
2. Алутин А.П., Бойцов М.С., Каравайков В.М. Разработка конструкции и испытания термодинамического конденсатоотводчика // Промышленная энергетика. 2011. №10. С. 41-44.
3. Ю.Я. Печенегов, В.М. Яковлева, А.В. Шаров, Ю.В. Абакумов Патент на изобретение №66476 (RU). Кл.МПК F 16T 1/100. Конденсатоотводчик. Б.И. №25. 2007.
4. Ю.Я. Печенегов, Р.В. Богатенко, А.В. Косов и др. Характеристики конденсатоотводчиков дроссельного типа // Промышленная энергетика. 2009. №7. С.42-44.
5. Печенегов Ю.Я. Пароконденсатные системы промышленных предприятий и конденсатоотводчики. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1998. 100с.

УДК 631.363

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА В КОРМОВЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
THERMAL AND MASS-EXCHANGE PROCESSES UNDER THE HYDROLYSIS OF ACTIVATED LIGNOCELLULOSIC MATERIAL**

**Салават Равилевич Закиров, Дмитрий Богданович Просвирников  
Salavat R. Zakirov, Dmitry B. Prosvirnikov**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, Казань  
Kazan national research technological university, Russia, Kazan  
(e-mail: zsr03011987@gmail.com, prosvirnikov\_dmi@mail.ru)*

*Аннотация:* Данная статья описывает ресурсо- и энергосберегающую технологию эффективной переработки лесосечных отходов древесной зелени (хвоя, листья, сучья, побеги) в легко усваиваемый кормовой продукт.

*Abstract:* This article describes the resource and energy-saving technology of efficient processing of woody wastes of woody greens (needles, leaves, branches, shoots) into an easily digestible feed.

*Ключевые слова:* древесные отходы, переработка, кормовой продукт, паровзрывная обработка.

*Keywords:* wood waste, processing, feed, steam explosion treatment.

Развитие животноводства в России, как одной из приоритетных отраслей агропромышленного комплекса, ввиду реализации программ импортозамещения и постоянного роста цен на зерно на ближайшую перспективу потребует существенного увеличения производства кормов, повышения их качества и совершенствования технологий кормопроизводства, применяя комплексные подходы к переработке альтернативного растительного сырья [1].

На сегодняшний день обстановка в отечественной области кормопроизводства следующая: 1) более трети российских животноводческих хозяйств пользуются комбикормами собственного производства; 2) основу комбикормов составляют зерновые компоненты (до 80 % масс.) [2], цены на которые ежегодно растут с темпом 2-5%; 3) слабая усваиваемость комбикормов из-за их перенасыщенности зерновыми и недостатком белковых компонентов и аминокислот [3]; 4) отрасль зависит от урожайности зерновых, в связи с чем введение незерновых компонентов поможет снизить эту зависимость [4,5]; 5) импортные синтетические премиксы и витаминные добавки определяют до 30 % стоимости комбикормов.

В лесозаготовительной, деревообрабатывающей и лесохимической отраслях России, которые потенциально в масштабе государства могут стать смежными с областью кормопроизводства, наблюдаются следующие тенденции: 1) объем образующихся древесных отходов (включая лесосечные) ежегодно растет и перерабатывается крайне неэффективно [7]; 2) высокоэффективные технологии глубокой переработки растительной биомассы в кормовые продукты и их компоненты с 90-х годов практически не реализуются, однако, сейчас наблюдается повышенный интерес к таким продуктам со стороны сельхозпроизводителей [6].

В свете представленных проблем предлагается отдельная сезонная обработка хвойной и лиственной древесной зелени (65-80 % масс. хвои и листьев, 10-16 % масс. коры, 8-19 % древесины сучьев), содержащей протеины, в том числе незаменимые аминокислоты (5-8% масс.), клетчатку (20-25 % масс.), экстрактивные эфирные вещества (до 20% масс.), легкоусваиваемые углеводы (35-50 % масс.), минеральные компоненты (1,5-3 % масс.),

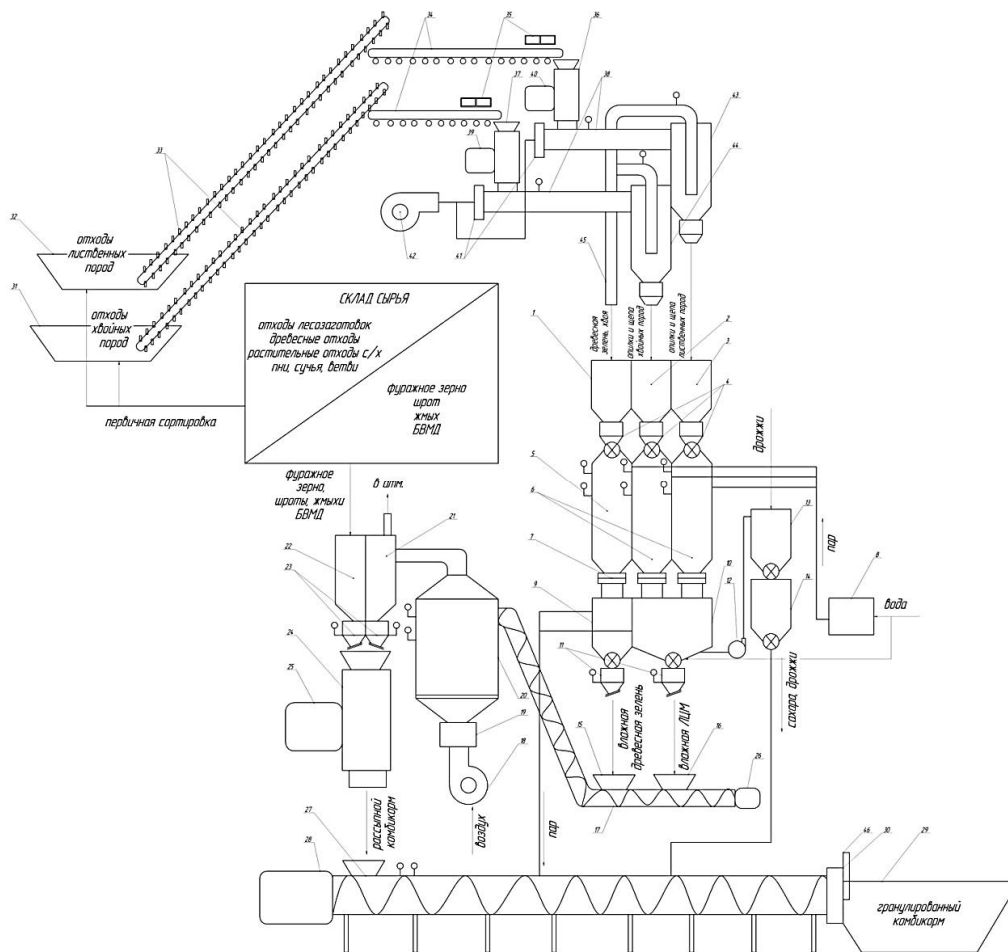
путем паровзрывной обработки растительного сырья, способствующей высвобождению лишней части эфирных веществ и понижению содержания трудноусваиваемых углеводов, что позволит получить продукт с необходимой высокой кормовой ценностью и высоким содержанием витаминов Е, К, каротина, рибофлавина, фолиевой кислоты. Такой продукт может быть использован как самостоятельная концентрированная добавка к кормам для сельскохозяйственных животных (птица, свиньи, КРС, рыбы) или при добавлении зерновой составляющей как полнорационный комбикорм.

Технологическая схема переработки отходов лесного комплекса в полнорационный комбикорм для сельскохозяйственных животных, разработанная на кафедре Переработки древесных материалов, представлена на рисунке 1.

На склад сырья поступают отходы лесозаготовок (ветви, сучья, древесная зелень, кора, пни хвойных и лиственных пород), древесные отходы (отходы деревообрабатывающих производств – горбыли, рейки, опилки, некондиционная щепа), растительные отходы сельскохозяйственного производства (отруби, хлопковая и зерновая шелуха, кочерыжки, подсолнечная лузга), фуражное зерно, производственный шрот, жмых, белково-витаминные минеральные добавки (БВМД). Первичная сортировка производится по породам сырья. Отходы хвойных пород поступают в бункер 31, отходы лиственных пород – в бункер 32. Из бункеров отходы по наклонным ленточно-скребковым транспортерам 33 поступают на горизонтальные ленточные транспортеры 34, и, проходя магнитные сепараторы 35 для улавливания металлических примесей поступают в дробилку - измельчитель. Отходы лиственных пород измельчаются до фракции опилок в дробилке 36, работающей от привода 40. Отходы хвойных пород измельчаются до фракции опилок в дробилке 37, работающей от привода 39. После этого измельченные отходы попадают в пневмотранспортеры 38, оснащенные фильтрами 41, и работающими при нагнетании воздуха общим вентилятором 42. Попадая в пневмотранспортирующую трубу, лиственные измельченные отходы направляются в циклон 43, где тяжелые фракции отправляются в бункер для опилок и щепы лиственных пород 3, а легкие фракции в коллектор измельченной древесной зелени 45. Хвойные измельченные отходы направляются в циклон 44, где тяжелые фракции отправляются в бункер для опилок и щепы хвойных пород 2, а легкие фракции в коллектор измельченной древесной зелени 45. Из коллектора древесная зелень в смеси хвойных и лиственных пород попадает в бункер 1. Таким образом, производится вторичная сортировка по породам и фракциям с целью подбора оптимальных режимных параметров на стадии баротермической обработки растительного сырья.

Опилки и щепа лиственных пород из бункера 3 через затвор – сепаратор 4 загружаются в реактор для паровзрывной обработки 6. Аналогично заполняется опилками и щепой реактор для паровзрывной обработки хвойных отходов и реактор для тепловой обработки древесной зелени 5. После полной загрузки реакторов из соответствующих бункеров затворы 4 вместе с узлами сброса давления 7 герметично закрываются, и в реактора подается насыщенный водяной пар из парогенератор 8. В реакторе 6 для лиственных пород температура пара составляет около 180-190 С, давление 1,5-1,8 МПа. В реакторе 6 для хвойных пород температура пара составляет около 190-210 С, давление 2,1-2,3 МПа. В реакторе 5 для древесной зелени температура пара составляет около 160-180 С, давление 0,9-1,5 МПа. Разные режимные параметры в реакторах обусловлены химическим составом обрабатываемого сырья. Обработка в реакторах составляет от 5 до 15 минут, в зависимости от сырья, его начальной влажности перед паровзрывной обработкой, а также от условий предварительной обработки сырья в бункерах водно-кислотными растворами для интенсификации процесса. После выдержки сырья в реакторе производится резкий сброс давления с реакторов путем открытия сбросных клапанов 7. Сырье под давлением «выстреливается» в приемные резервуары. Обработанная и пропаренная древесная зелень выгружается в бункер 9, откуда через шлюзовой затвор и массовый дозатор 11 поступает в гибкий шнековый транспортер 11, работающий от привода 26. Взорванные волокна лиственной и хвойной лигноцеллюлозной массы после выгрузки попадают в резервуар 10,

куда подается вода для промывки массы.



**Рисунок 1 - Технологическая схема переработки отходов лесного комплекса в полнорационный комбикорм для сельскохозяйственных животных**

Промывные воды с перешедшими в них растворами сахаров и олигосахариды (гидролизат) преимущественно С5 и С6 групп насосом 12 перекачиваются в инвертор гидролизата 13. В аппарате 13 производится сгущение гидролизатов, смешивание их с дрожжами для сбраживания и размножения дрожжей (белковой составляющей комбикормов). Смесь поступает в бродильный чан 14, где поддерживается определенная температура на уровне 45-60 С. После полного сбраживания сахаров в этом аппарате производится сепарация дрожжей, сгущение белковой массы и подача ее на выход экструдера 27, где она смешивается со смесью комбикорма и увлажняет ее. Лигноцеллюлозная углеводная масса из резервуара 10 через шлюзовой затвор и весовой дозатор 11 подается в шнековый транспортер 11, работающий от привода 26. Пар, образующийся при сбросе давления с реакторов 5 и 6 отводится в среднюю часть экструдера для увлажнения массы и поддержания температурного режима экструдера-гранулятора.

Обработанное лигноуглеводное сырье в виде взорванного хвойного и лиственного волокна, а также обработанная древесная зелень по транспортеру 17 направляются в сушилку кипящего слоя 20, в которую вентилятором 18 подается воздух, нагреваемый калорифером 19. Высушенное до требуемой влажности сырье в виде волокон и сухих листьев и хвои попадает в бункер растительного сырья 21, в верхней части которой отводится сушильный агент. Со склада в бункер 22 поступает фуражное зерно, шроты, жмыхи, БВМД в определенном соотношении в зависимости от рецептуры комбикорма. Оба вида сырья из бункеров 21 и 22 через массовые дозаторы поступают в дробилку тонкого



помола 24, работающей от электродвигателя 25, где измельчаются до состояния крупной муки и одновременно смешиваются.

Полученный сухой рассыпной комбикорм поступает в шнековый экструдер-гранулятор 27, работающий от электродвигателя 28. По мере продвижения смеси по длине экструдера масса вторично нагревается как снаружи электрическим обогревом через стенку, так и внутри путем подачи в экструдер пара с резервуаров 9 и 10. Таким образом, растительное сырье, пришедшее со склада (фуражное зерно, шроты, жмыхи) проходит термообработку. На конечной стадии экструдирования в смесь добавляется белковая протеиновая добавка, полученная из сахаров после паровзрывной обработки. Все компоненты тщательно перемешиваются, и готовый полнорационный комбикорм, проходя фильеру 30 и режущее устройство 46, формируется в гранулы определенной длины и диаметра и собирается в бункере 29, откуда направляется на упаковку и склад готовой продукции.

Таким образом, предлагаемая ресурсо- и энергосберегающая технология переработки растительной биомассы в кормовые продукты для сельскохозяйственных животных обладает следующими преимуществами по сравнению с традиционными технологиями получения комбикормов: 1) сниженная доля зерновых компонентов до 40-45% против 70-80% в традиционных комбикормах; 2) цена в 2-2,3 раза ниже аналогичных по химическому составу и питательности комбикормов; 3) сбалансированный состав корма, содержащий все необходимые компоненты для полноценного рациона сельскохозяйственных животных, превосходит предлагаемые составы по содержанию витаминно-минеральных комплексов на 7-15 % (в частности витаминов Е, К, каротина, рибофлавина, фолиевой кислоты); 4) за счет паровзрывной обработки растительного сырья усваиваемость предлагаемого корма на 15-20 % выше существующих комбикормов, особенно в части усвоения белков и аминокислот с повышенной растворимостью; 5) стойкость к патогенной микрофлоре и микроскопическим грибам; 6) экологически чистый способ приготовления кормов; 7) особенности технологии позволяют регулировать режимные параметры процесса, обеспечивая производство из одного сырья широкой номенклатуры продукции (различного состава) для разных категорий сельскохозяйственных животных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Афанасьев А. В., Передня В. И., Володкевич В. И.* Оценка эффективности применения ресурсосберегающих, экологически чистых технологий и оборудования для производства биологически полноценных комбикормов в России и Беларуси // Вестник. – 2014. – Т. 1. – №. 13. – С. 43.
2. *Савиных П. А., Нечаев В. Н., Нечаева М. Л.* Совершенствование комбикормового оборудования как фактор повышения качества продукции // Вестник НГИЭИ. – 2016. – №. 4 (59).
3. *Сыроватка В. И.* Совершенствование технологических процессов производства комбикормов в хозяйствах // Вестник. – 2014. – Т. 1. – С. 4.
4. *Габачиев Д. Т., Хажметов Л. М., Шехихачев Ю. А.* Разработка инновационной технологии и технического средства для производства комбинированных кормов // Международный научный журнал.– Волгоград: Научное обозрение. – 2014. – №. 6. – С. 10.
5. *Чериков С. Т. и др.* Разработка технологии получения органоминерального экструдированного комбикорма с использованием новообразующего фильтрационного осадка сахарных заводов // Известия. – 2016. – Т. 37. – №. 1. – С. 203-208.
6. *Просвирников Д. Б., Халитов Р. А., Лашков В. А.* Исследование механизма паровзрывного диспергирования лигноцеллюлозного материала // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – №. 1.
7. *Просвирников Д. Б., Ахметшин И. Р.* Получение фильтрующего материала на основе порошковой целлюлозы // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – №. 3-2. – С. 8-2.

УДК [004.896: 621.31]: 621.6

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ В  
НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ И НЕФТЕГАЗОТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛЯХ  
INTELLIGENT ENERGY SAVING SYSTEMS IN OIL AND GAS PRODUCTION AND  
OIL AND GAS TRANSPORTATION INDUSTRIES**

**Артур Маратович Сагдатуллин  
Artur M. Sagdatullin**

*Казанский государственный энергетический университет, Россия, Казань  
Kazan State Power Engineering University, Russia, Kazan  
(e-mail: saturn-s5@mail.ru)*

*Аннотация:* Рассмотрены некоторые особенности построения систем автоматического управления процессами транспортировки, добычи и подготовки нефти и попутного газа на месторождениях, приведены результаты исследования работы интеллектуальных управляющих систем, оценена перспективность их применения в нефтегазодобывающей отрасли с целью энергосбережения и повышения эффективности данных технологических процессов.

*Abstract:* Some peculiarities of system control construction of oil and associated gas production, transportation and treatment processes in situ of the oilfields are considered. Some results of the study of smart/intelligent control systems were shown. Implementation of them in the technological processes that can be used as analytical materials for forecasting and evaluation of energy efficiency are considered.

*Ключевые слова:* интеллектуальные энергосберегающие системы, нечеткая логика, системы управления, транспортировка, добыча и подготовка нефти и попутного газа.

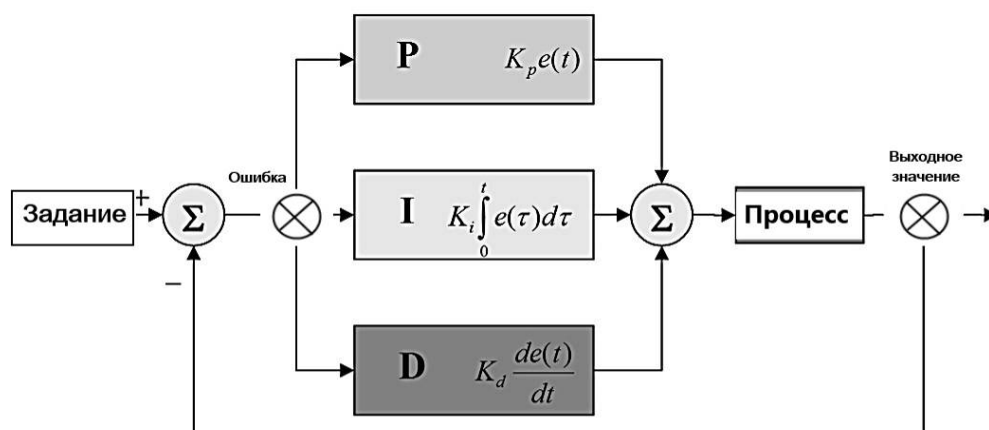
*Keywords:* Intelligent energy-saving systems, fuzzy logic, control systems, transportation, production and treatment of oil and associated gas.

Увеличение энергоэффективности добычи, подготовки и транспортировки нефти и попутного газа связано с повышением эффективности всех взаимосвязанных технологических процессов, совершенствованием качества работы управляющих систем, а также алгоритмов их функциональной взаимосвязи и их согласованности в реальном масштабе времени. Было отмечено, что в общей структуре себестоимости затраты добывающих предприятий на данные технологические процессы могут достигать 80 %, существенную долю в которых занимают электроприводы различных турбомеханизмов [1-3].

Следовательно, актуальными для нефтегазодобывающей отрасли являются задачи, связанные со снижением потерь, поддержанием качества углеводородного сырья и энергосбережением в процессах добычи, транспорта и его подготовки.

Основой и одним из эффективных механизмов решения данных задач может являться применение новых методов управления и энергосберегающих схем [4].

Действительно, исследования по переводу рассматриваемых технологических процессов в регулируемые режимы позволило выявить существенное энергосбережение при управлении применяемыми турбомеханизмами. Так, например, в автоматизации и управления электроприводами с асинхронными электродвигателями широко используются системы, оснащаемые классическими пропорционально – интегрально – дифференциальными (ПИД) регуляторами (рис. 1) по представленному ниже закону регулирования (1).



**Рис. 1. Функциональная часть классических пропорционально – интегрально – дифференциальных регуляторов**

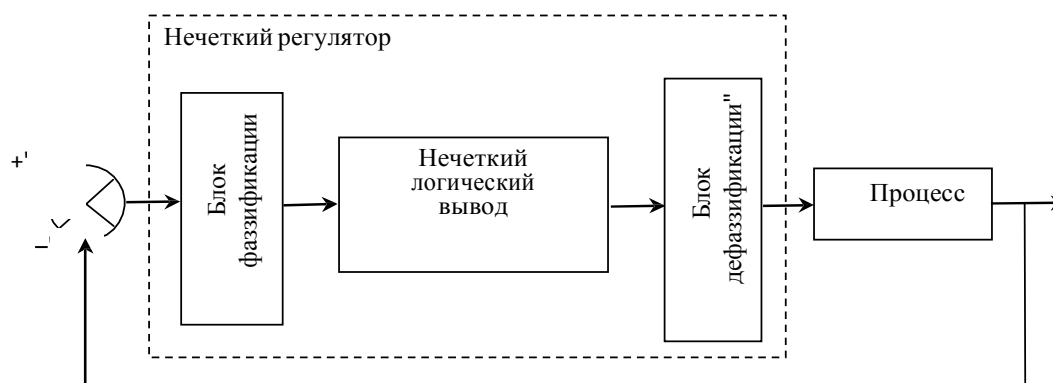
$$U(t) = P + I + D = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}, \quad (1)$$

где  $U(t)$  – выходной сигнал регулятора,  $P$  – пропорциональная часть,  $I$  – интегральная часть,  $D$  – дифференциальная часть,  $K_p$  – коэффициент усиления,  $T_i$  – постоянная интегрирования,  $T_d$  – время дифференцирования,  $e(t)$  – ошибка (входной сигнал регулятора) [4].

Во многих случаях данная схема управления весьма оправдана и положительно сказывается, как на энергоэффективности турбомеханизма, так и на технологических процессах, обслуживаемых данной производственной установкой. Однако, функционирование многих добывающих систем, насосных станций, транспортирующих нефть и попутный газ под давлением непрерывно связано с воздействием на них различных возмущающих факторов, а, следовательно, с изменением отдельных характеристик математических моделей данных процессов. Регулирование и управление в таком случае также должно подвергаться корректировке в реальном времени, возможностью подстройки к технологическому процессу и действительным условиям на месторождении.

С этой целью все больше получают развитие интеллектуальные управляющие системы, основанные на принципах нечеткой логики, генетических алгоритмах и нейронных сетях и использующие методы создания баз знаний, распознавания и обучению в отношении объектов управления, возмущений, внешней среды и условий работы [5].

На рисунке 2 представлена схема системы управления объектом с нечетким регулятором с четкой обратной связью [6, 7], работа которого основана на принципе сравнения заданной величины с исходным значением созданной базы правил и выдаче команд на управляющее устройство или исполнительный механизм.



**Рис. 2. Функциональная часть управляющей системы с нечетким регулятором и четкой обратной связью**

Основным преимуществом нечетких регуляторов является возможность использовать экспертную информацию в процессах регулирования, которую сам эксперт может представить в вербальной форме, описывая тем самым порядок управления объектом без трудоемкой разработки математической модели, которая требуется в классических системах (рис 1).

Это позволяет квалифицированному в данной области эксперту составить набор правил по управлению объектом, представить свой наработанный опыт и навыки в виде системы нечетких продукционных правил и описать его одним из доступных языков в системе управления.

Кроме того, ведутся работы по совершенствованию данных систем управления, схем и алгоритмов их функционирования, позволяющих улучшить работу и качество управления объектами и технологическими процессами в целом.

Таким образом, совершенствование систем управления, дополнение их новыми, интеллектуальными функциями существенно влияет на энергоэффективность процессов и систем, что в осложненных условиях добычи, таких северный климат и воздействие возмущающих факторов – тяжелая нефть, ее сернистость, изменение гидродинамических и геолого-физических условий пластов, становится особенно актуальным и важным для отрасли в целом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Зиатдинов А.М., Каяшев А.И., Емекеев А.А.* Устройство плавного пуска и регулирования режимов работы группы высоковольтных асинхронных электродвигателей // патент на полезную модель RUS 140350 21.11.2013.

2. *Сагдатуллин А.М.* Адаптивный интеллектуальный логический регулятор, работающий в условиях нечетко заданной информации // патент на изобретение RUS 2579987 27.05.2014.

3. *Сагдатуллин А.М.* Интеллектуальная система управления удаленным объектом нефтегазового месторождения // Интеллектуальные системы и технологии: современное состояние и перспективы. Сборник научных трудов III-ей Международной летней школы-семинара по искусственному интеллекту для студентов, аспирантов и молодых ученых (ISyT'2015, Тверь-Протасово, 1-5 июля 2015 г.) – Тверь: Изд-во Тверского государственного технического университета, 2015. С. 163-171.

4. *Емекеев А.А., Сагдатуллин А.М.* Исследование энергоэффективности работы приводов штанговых скважинных насосов // В сборнике: Современные технологии в нефтегазовом деле-2015 Сборник трудов Международной научно-технической конференции: в 2 томах. 2015. С. 115-120.

5. *Зиатдинов А.М.* Анализ подходов к построению автоматизированных систем нефтегазодобывающего предприятия // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4-2. – С. 78–83.

6. *Сагдатуллин А.М.* Построение управляющей системы насосной станции на основе концептуальной модели // В сборнике: Современные технологии в нефтегазовом деле-2015 Сборник трудов международной научно-технической конференции: в 2 томах. Ответственный редактор В.Ш. Мухаметшин. 2015. С. 405-410.

7. *Сагдатуллин А.М.* Разработка силовой схемы управления автоматизированным электроприводом // В сборнике: Фундаментальные и прикладные исследования в технических науках в условиях перехода предприятий на импортозамещение: проблемы и пути решения Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. 2015. С. 411-415.

УДК 674.816

**ЭНЕРГО– И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ УСТАНОВКА ЭКСТРАКЦИИ  
ENERGY– AND RESOURCE-SAVING INSTALLATION OF EXTRACTION**

**Альбина Валерьевна Сафина, Гульшат Ринатовна Арсланова,  
Аделина Сергеевна Калашникова, Лейсан Шамилевна Асаева  
Al'bina V. Safina, Gulshat R. Arslanova, Adelina S. Kalashnikova, Lejsan S. Asaeva**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, Казань  
Kazan National Research Technological University, Russia, Kazan,  
(e-mail: safin@kstu.ru; 94arslanovagulshat@mail.ru; kalashadelina@rambler.ru;  
leisanasaeva@mail.ru)*

*Аннотация:* Разработана технологическая схема процесса экстракции древесного сырья, работающая под разрежением, позволяющая проводить регенерацию экстрагента, уменьшать энергозатраты и получать различные биологически активные вещества.

*Abstract:* Design the technological scheme of the process of extraction of wood material, working under vacuum, allowing regeneration of the extractant and receive a variety of biologically active substances.

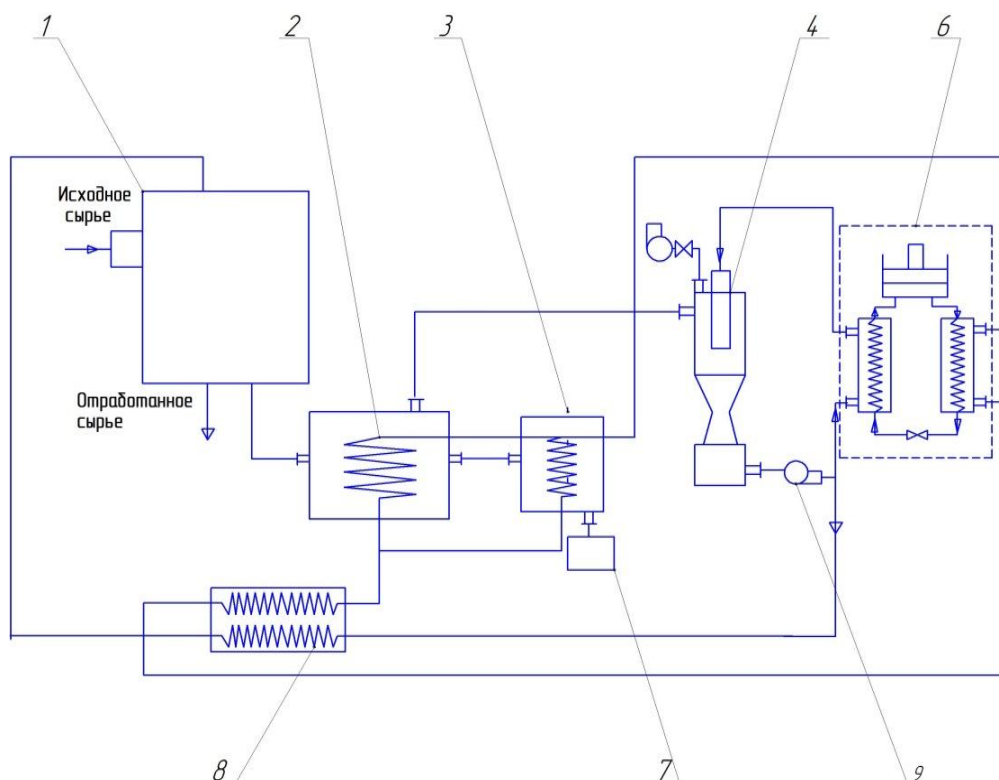
*Ключевые слова:* экстракция, экстрагент, биологически активные вещества  
*Keywords:* extraction, the extractant of biologically active substances.

В настоящее время в лесохимической промышленности популярным становится получение из древесины таких ценных компонентов как биологически активные вещества методом экстракции [1,2]. Состав биологически активных веществ зависит от породы древесины, некоторые из них составляют значительный процент в древесине, другие, наоборот, присутствуют в малых количествах. Так же многие биологически активные веществ зависят от возраста древесины и времени года. Спектр биологически активных веществ очень разнообразен и может быть разделен на две категории: вещества, извлекаемые органическими растворителями (эфир, спирт и т. д.), и вещества, извлекаемые неорганическими растворителями (вода) [3,4,5].

Так как процесс экстракции зачастую проходит при таком соотношении, где количество экстрагента в несколько раз превышает количество древесного сырья, то актуальным является вопрос регенерации отработанного экстрагента.

На базе кафедры «Переработки древесных материалов» была разработана технологическая схема процесса экстракции древесного сырья, позволяющая регенерировать отработанный экстрагент (Рис.1).

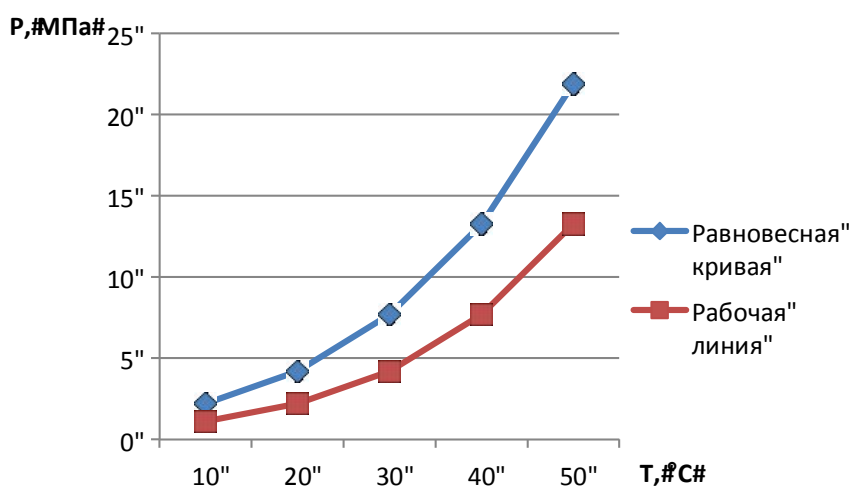
Процесс экстракции происходит следующим образом: в экстрактор 1 загружается древесное сырье, происходит процесс экстракции. В качестве экстрагента используют раствор этилового спирта. Полученный экстракт выпаривают в две стадии, на первой стадии происходит выпаривание в выпарном аппарате 2 под разрежением, которое создает эжекторный насос 3. На второй стадии экстракт окончательно выпаривается в выпарном аппарате 3 и собирается в сборнике 7. Часть паровой среды, удаленной эжекторным насосом 4 через компрессорную установку 6 передает свое теплосодержание на обогревание выпарных аппаратов 2 и 3. А оставшаяся часть поступает на рециркуляцию с помощью насоса 9 через рекуперативный теплообменник 8 в качестве экстрагента в экстрактор 1.



**Рис. 1. Технологическая линия процесса экстракции биологически активных веществ из древесины ивы и осины.**

**1-экстрактор; 2,3 – выпарной аппарат; 4-эжекторный насос; 6 – компрессорная холодильная установка; 7 – сборник выпаренного экстракта; 8 – рекуперативный теплообменник; 9 – циркуляционный насос.**

Для получения разных биологически активных веществ необходимо использовать разные режимные параметры [6]. Были проведены исследования процесса экстракции этиловым спиртом при различных температурах и концентрациях экстрагента. По данным исследований были построены равновесные кривые, по которым можно построить рабочие линии для организации процесса экстракции.



**Рис. 2. График зависимости давления от температуры процесса при концентрации экстрагента 60%**

Равновесная кривая процесса определяется зависимостью

$$P = \sum_{i=1}^n X_i T_i;$$

Рабочая линия определяется зависимостью:

$$P = \sum_{i=1}^n X_i (T_i - 10);$$

Для проведения экстракции 100 кг древесного сырья в известных установках необходимо затратить 97 кВт·час тепловой энергии. В разработанной установке потребление осуществляется компрессорной установкой - 31 кВт·час, эжекторным насосом - 1,7 кВт·час, вакуумным насосом 1,8 кВт·час. Из приведенных значений видно, что предложенное аппаратное оформление процесса экстракции древесного сырья позволяет снизить энергозатраты более чем в два раза.

Таким образом, технологическая линия процесса экстракции древесного сырья позволяет регенерировать отработанный экстрагент и отправлять его на повторное использование. А также, за счет уменьшения энергозатрат на стадии регенерации экстрагента, вследствие применения теплового насоса в виде компрессорного агрегата, повышается эффективность процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воронин, А. Е., Зиятдинова А. Р. Способы получения полезных продуктов из отходов деревопереработки, преимущественно древесной зелени. М.: Деревообрабатывающая промышленность, 2012. – 32 с.
2. Галяветдинов, Н. Р., Воронин А. Е. Переработка древесной зелени с последующим получением полезных продуктов / Вестник технологического университета, 2014. – Т. 17. – №15. – 234-236 с.
3. Сафин, Р. Г, Повышение эффективности экстракции эфирных масел водяным паром. / Р. Г. Сафин // Вестник технологического университета, 2015. - Т.18 - №8. – 256-258 с.
4. Арсланова Г. Р. Закономерности процесса экстракции растительного сырья / Г. Р. Арсланова, Т. О. Степанова, А. М. Габидуллин // Международная научная конференция Areas of scientific thought, 2017. – 19-22 с.
5. Арсланова Г. Р. Получение биологически активных веществ из древесины осины методом экстракции. / Г. Р. Арсланова, Р. С. Альмухаметов, А. Р. Шакиров // Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. – 624 с.
6. Зиятдинова, Д. Ф. Экспериментальная установка для получения хвойного экстракта из древесной зелени / Д. Ф. Зиятдинова, Р. С. Альмухаметов, А. Р. Шакиров, Г. Р. Арсланова.// Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. – 624 с.

УДК 502

**АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В РОССИИ  
ALTERNATIVE POWER ENGINEERING IN RUSSIA**

**Татьяна Валерьевна Султанова  
Tatyana V. Sultanova**

*Забайкальский государственный университет, Россия, Чита  
Transbaikal state university, Russia, Chita  
(e-mail:tanya\_1983\_07@mail.ru)*

*Аннотация:* В статье рассмотрены альтернативные источники энергии, альтернативная энергетика в России. Приведены установленные мощности возобновляемой энергетики в мире по источникам по итогам 2016 года. Также рассмотрены гидроэнергетика, гидроэлектростанции и гидроэнергетические ресурсы.

*Abstract:* In article alternative energy sources, alternative power engineering in Russia are considered. Rated capacities of renewable power are specified in the world on sources following the results of 2016. The hydropower, hydroelectric power stations and hydroenergy resources are also considered.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, гидроэнергетика, гидроэлектростанция, электроэнергия, источники энергии.

Keywords: alternative power engineering, hydropower, hydroelectric power stations, electricity, power sources.

На сегодняшний день растет необходимость в перспективных способах получения энергии посредством развития альтернативной энергетики.

Различные виды альтернативной энергетики используются в нашей стране достаточно давно. Как минимум это ветряные и водяные мельницы, которые на протяжении сотен лет были популярны в нашей стране для помола зерна и подъема воды. В настоящее время их заменили ветряки и гидроэлектростанции.

Развивая альтернативные источники энергии в России, одновременно решаются проблемы экологии, которые для нашей страны актуальны как никогда. Эффективность использования тех или иных альтернативных источников энергии напрямую зависит от региона, в котором необходима установка. Качественный мониторинг энергопотенциала позволяет определять наиболее подходящую технологию и рассчитывать ее окупаемость на годы вперед, а так же исключает ошибки связанные с региональными особенностями.

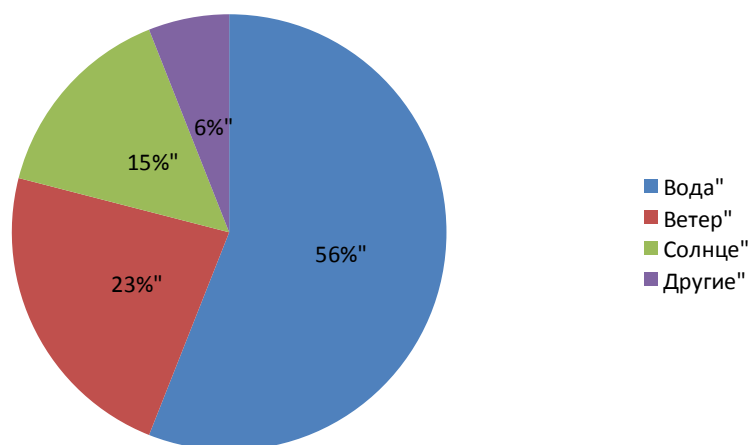
Не стоит забывать о экологичности альтернативных технологий добычи энергии. Солнечные, ветровые и гелиоустановки не производят вредных выбросов в атмосферу, не загрязняют воду и безопасны для человека.

Безусловно, солнечные, ветряные, геотермальные, приливные станции и прочие виды альтернативной энергетики предлагают практически неисчерпаемую энергию для всех желающих. Поэтому развитие альтернативных источников энергии идет большими темпами во всем развитом мире [1].

Установившаяся мощность возобновляемой энергетики, во всем мире по итогам 2016 года превысила 2 тысячи гигаватт, достигнув 2006 ГВт (в 2007 году приходилось 989 ГВт). 1122 ГВт или 56% этой величины приходится на гидроэнергетику.

Остальные возобновляемые источники энергии расположены в следующем порядке (Рис. 1). Прирост мощности возобновляемых источников энергии в 2016 году составил 161 ГВт. Солнечная энергетика впервые обогнала ветроэнергетику по приросту. Зафиксировано 71 ГВт новых мощностей в солнечной генерации и 51 ГВт в ветроэнергетике. Прирост в гидроэнергетике составил 30 ГВт [2].





**Рис.1. Установленная мощность возобновляемой энергетики в мире по источникам**

Гидроэнергетика – одно из наиболее эффективных направлений электроэнергетики.

Гидроресурсы – возобновляемые и наиболее экологичные источники энергии, использование которых позволяет снизить выбросы в атмосферу теплоэлектростанциями и сохранить запасы углеводородного топлива для будущих поколений.

Кроме своего прямого назначения – производства электрической энергии – гидроэнергетика решает дополнительно ряд важнейших задач. Гидроэнергетика является инфраструктурой для деятельности и развития целого ряда важнейших отраслей экономики и страны в целом.

Уровень развития гидроэнергетики в разных странах и на разных континентах неодинаков. Больше всего гидроэнергии производят Соединенные Штаты, за ними идут Россия, Украина и другие.

Гидроэнергетика является ключевым элементом обеспечения системной надежности Единой Энергосистемы страны, располагая более 90% резерва регулировочной мощности. Из всех существующих типов электростанций, именно гидроэлектростанции являются наиболее маневренными и способны при необходимости существенно увеличить объемы выработки в считанные минуты, покрывая пиковые нагрузки.

В настоящее время на территории России работает 102 гидроэлектростанции мощностью свыше 100 МВт. Общая установленная мощность гидроагрегатов на гидроэлектростанциях в России около 45 млн кВт, а выработка примерно 165 млрд кВтч/год.

В России зоны децентрализованного энергоснабжения составляют более 70% территории страны. До сих пор в этих зонах можно встретить населенные пункты, в которых электричества не было никогда.

Развитие альтернативной энергетики в России должно создать основу для ухода от энергетики, основанной на ископаемых углеводородах. Однако, на первом этапе, основой является энергообеспечение отдаленных регионов, где нет централизованной системы электроснабжения.

Энергетическая стратегия РФ до 2030 года, предполагает увеличение потребления электрической энергии. Разработанный топливно-энергетический баланс страны предусматривает совершенствование структуры производства электроэнергии, включая более полное использование потенциала гидроэнергетики, прежде всего в результате завершения строительства ранее начатых объектов [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативная энергетика и России //http://www.AltEnergia.ru
2. Статистика установленной мощности в возобновляемой энергетике 2017 год. Отчет Международного Агентства Возобновляемой Энергетики (IRENA).
3. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года.

УДК 661.418

**РАСЧЕТ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ЕДКОГО НАТРА  
ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ  
CALCULATION OF ENERGY CONSUMPTION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES  
ON THE EXAMPLE OF MANUFACTURE OF SODIUM HYDROXIDE  
BY ELECTROLYTIC METHOD**

**Екатерина Анатольевна Шулаева, Николай Сергеевич Шулаев,  
Юлия Фанильевна Коваленко  
Ekaterina A. Shulaeva, Nickolay S. Shulayev, Julia F. Kovalenko**

*Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета  
в г. Стерлитамаке, Россия, Стерлитамак  
Branch of the Ufa State Petroleum Technological University in Sterlitamak, Russia, Sterlitamak  
(e-mail: eshulaeva@mail.ru, nshulayev@rambler.ru, julia\_str\_ak@mail.ru)*

*Аннотация:* В представленной работе проведен анализ энергетических затрат производства едкого натра, водорода и хлора электролитическим способом в электролизерах с ртутным катодом. Показано, что основным энергетическим показателем является ток электролизера. Определено, что с повышением температуры электролита электрическое сопротивление уменьшается, что позволяет при заданном токе понизить напряжение между электродами и, следовательно, уменьшить энергетические затраты.

*Abstract:* In the presented work the analysis of the energy costs of production of caustic soda, hydrogen and chlorine by the electrolytic method in electrolytic cells with mercury cathode. It is shown that the main energy indices are the cell current. Determined that with increasing temperature of the electrolyte electrical resistance is reduced, which allows at a given current, lower the voltage between the electrodes and hence to reduce energy costs.

*Ключевые слова:* электролиз, едкий натр, электрический ток, энергетические затраты  
*Keywords:* electrolysis, caustic soda, electric current, energy costs

Разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов с целью уменьшения энергоресурсозатрат является актуальной проблемой. В представленной работе приведены результаты теоретических исследований для определения энергосберегающих режимов процесса производства едкого натра, водорода и хлора электролитическим способом [1]. Этот процесс характеризуется достаточно высокими энергезатратами, так для получения 1 кг едкого натра (NaOH) требуется ~ 10 кДж электроэнергии. Поэтому определение оптимальных параметров проведения технологического процесса, позволяющих уменьшить затраты энергии является необходимым условием эффективности производства. Одним из путей решения этой проблемы является создание математической модели технологического процесса, на основе которой можно определить такие параметры, при заданной производительности, когда потребление энергии будет минимизировано. Основным показателем функционирования производства едкого натра является вольт-амперная характеристика электролизера – основного технологического элемента. В электролизере с ртутным катодом раствор NaCl разлагается с образованием амальгамы натрия и хлоргаза. Затем амальгама подается в разлагатель, где получается каустическая сода (едкий натр) и водород, циркуляция ртути осуществляется насосом. Как показано в работах [2, 3] зависимость тока электролизера  $I$  от напряжения между электродами  $U$  и другими параметрами процесса определяется соотношением

$$I = \frac{n_i e^2 S}{6\pi\mu d} \cdot \frac{U}{\left(\frac{e p_e}{6\pi\epsilon_0 k T}\right)^{\frac{1}{2}} \left[1 + \frac{3\pi\epsilon_0 p_e k T}{2e^3}\right]^{\frac{1}{2}} + \frac{p_e}{2e}}, \quad (1)$$

где  $n_i$  – концентрация ионов натрия и хлора в электролите;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл – элементарный заряд;  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная;  $p_e$  – дипольный момент молекул воды ( $H_2O$ );  $T$  – абсолютная температура электролита;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости электролита;  $S$ ,  $d$  – площадь электродов и расстояние между ними.

Из приведенного соотношения следует, что зависимость тока в электролизере, характеризующим производительность процесса, определяется как конструктивными параметрами: площадь анода и катода  $S$ , расстояние между электродами  $d$ , так и технологическими параметрами:  $n_i$  – концентрацией ионов натрия и хлора в электролите его температурой  $T$  и вязкостью  $\mu$ . Выражение (1) позволяет также определить температурную зависимость вольт-амперной характеристики  $I = f(U(T))$  электролизера с учетом изменения вязкости электролита при изменении температуры (рис.1).

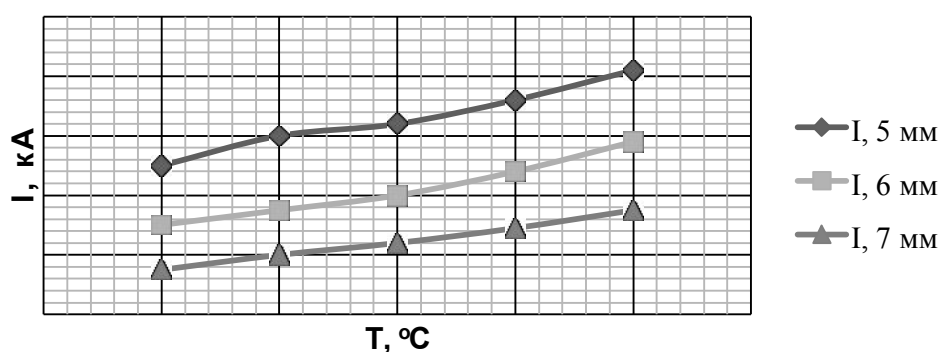


Рис. 1. Зависимость силы тока на электролизере от температуры при фиксированных значениях межэлектродных расстояний и напряжении 3,65 В

Из рисунка 1 видно, что в пределах допустимого интервала температур электролита, ток линейно возрастает с увеличением температуры, что свидетельствует об увеличении проводимости электролита из-за уменьшения вязкости.

Учитывая зависимость тока от конструктивных и технологических параметров можно определить производительность электролизера и удельные затраты энергии  $G$  (Дж/кг) (рис. 2), определяемыми расходными нормами по заряду для  $NaOH$ , хлора и водорода.

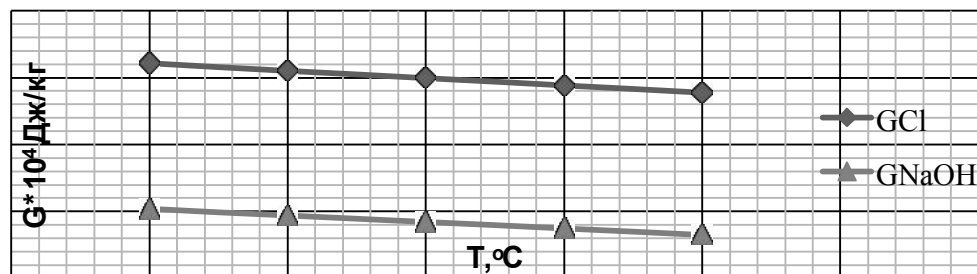
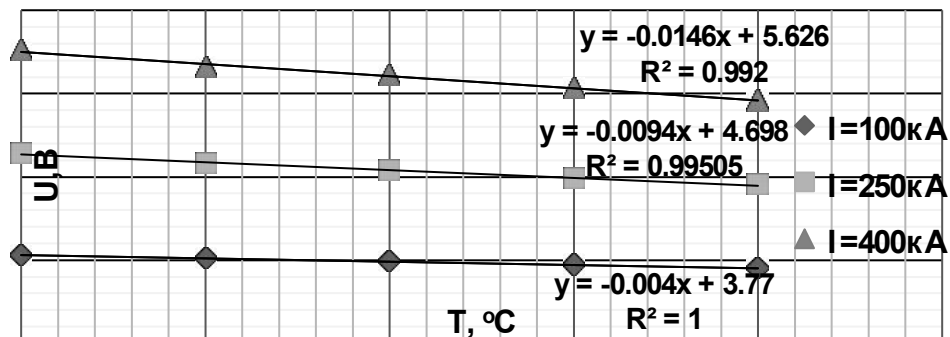


Рис. 2. Удельные затраты энергии  $G$  для хлора и едкого натра

$$G_{NaOH,Cl,H} = \frac{U}{k_{NaOH,Cl,H}}, \quad (2)$$

где  $k_{NaOH,Cl,H}$  – расходные нормы по заряду;  $k_{NaOH} = 4,144 \cdot 10^{-4}$  кг/Кл,  $k_{Cl} = 3,675 \cdot 10^{-4}$  кг/Кл,  $k_H = 1,044 \cdot 10^{-5}$  кг/Кл.

Из формулы (2) следует, что чем меньше напряжение между электродами при заданном значении тока, тем меньше энергозатраты. На рис. 3 приведена температурная зависимость напряжения при фиксированных значениях тока и межэлектродном расстоянии 5 мм. Из рисунка видно, что при заданной величине тока с увеличением температуры напряжение между электродами уменьшается.



**Рис. 3. Зависимость напряжения на электролизере от температуры при фиксированных значениях силы тока и межэлектродном расстоянии 5 мм**

Из приведенного анализа следует, что электролитический процесс энергетически выгодно проводить при максимально высокой допустимой температуре электролита.

Таким образом, приведенные зависимости необходимо учитывать при определении оптимальных, с точки зрения энергозатрат, режимов проведения технологических процессов. Предложенная математическая модель может быть использована при разработке систем автоматического управления процесса электролиза для обеспечения заданных технологических параметров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Якименко Л.М. Производство хлора, каустической соды и неорганических хлорпродуктов. М.: «Химия», 1974. 600 с.
2. Шулаева Е.А., Шулаев Н.С., Коваленко Ю.Ф. Моделирование параметров электролизера в производстве едкого натра, хлора и водорода // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14. № 4. с. 103.
3. E.A. Shulaeva, N. S. Shulayev, Ju. F. Kovalenko. Modeling of the process of electrolysis production of caustic, chlorine and hydrogen // International Conference on Information Technologies in Business and Industry 2016 IOP Publishing IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 803 (2017) 012148.
4. Шулаева Е.А., Коваленко Ю.Ф., Шулаев Н.С. Моделирование технологических параметров электролизера в производстве едкого натра // Инновационные технологии в промышленности: образование, наука и производство. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2016. С. 156-158.
5. Шулаева Е.А., Коваленко Ю.Ф., Шулаев Н.С. Моделирование параметров электролизера в производстве едкого натра, хлора и водорода// В сборнике: Автоматизация, энерго- и ресурсосбережение в промышленном производстве. Сборник материалов I Международной научно-технической конференции. 2016. С. 435-437.
6. Шулаева Е.А., Шулаев Н.С., Коваленко Ю.Ф. Температурная зависимость вольт-амперной характеристики электролизера в производстве едкого натра// В сборнике: Фундаментальные и прикладные исследования в технических науках в условиях перехода предприятий на импортозамещение: проблемы и пути решения Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. 2015. С. 158-160.

УДК 621.3

**ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕПЛОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ УЧРЕЖДЕНИЙ ЮВАО ГОРОДА МОСКВЫ**  
**FEASIBILITY ASSESSMENT OF APPLICATION OF INFORMATION-ANALYTICAL SYSTEMS IN IMPLEMENTATION OF HEAT SAVING MEASURES IN RESIDENTIAL BUILDINGS, INSTITUTIONS OF THE GOVERNMENT OF THE CITY OF MOSCOW**

**Сергей Вадимович Гужов**  
**Sergey V. Guzhov**

*Национальный исследовательский университет "МЭИ", Москва*  
*National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow*  
*(e-mail: GuzhovSV@yandex.ru)*

*Аннотация:* Внедрение системы энергетического менеджмента в жилых зданиях сдерживается отсутствием гарантии дополнительного энергосберегающего эффекта. В статье приводится пример расчёт дополнительного эффекта от внедрения системы энергетического менеджмента.

*Abstract:* The introduction of an energy management system in residential buildings is hampered by lack of a guarantee of additional energy-saving effect. The article provides an example of the calculation of the additional effect of the introduction of the energy management system.

*Ключевые слова:* энергоменеджмент, автоматическое регулирование теплопотребления, энергосбережение.

*Keywords:* energy management, automatic regulation of heat consumption, energy saving.

Москва - один из крупнейших мегаполисов мира, расположенный в холодных климатических условиях и потребляющий на нужды энергообеспечения свыше 25 млрд. кубометров природного газа ежегодно. Потребности населения и жилищно-коммунального комплекса города без учета электроэнергии достигают за отопительный период 20 млн. т.у.т. Задача сокращения потребления энергоресурсов коммунальным комплексом города является весьма актуальной. Комплексная задача оценки энергетической эффективности жилых и общественных зданий является весьма актуальной как с точки зрения энергосбережения в коммунальном теплоснабжении, так и обеспечения необходимого микроклимата.

Здания бюджетных учреждений г. Москвы в целом, и ЮВАО в частности, демонстрируют особенные характеристики в части потребления тепловой и электрической энергии, а также водных ресурсов. Наиболее заметно относительно иных зданий г. Москвы превышение в потреблении тепловой энергии. Мониторинг и анализ потребления объёмов энергоресурсов на уровне округа затруднён сложностями оперативного сбора необходимой информации, его разнородностью, недостоверностью, непериодичностью. Удельные величины потребления тепловой энергии за 2009 год по Юго-Восточному административному округу города Москвы в денежном выражении в порядке их убывания: жилищный фонд 2,211 млн.руб., Управы и здания Префектуры 4,5 млн.руб., ГУП ДЕЗ 0,39 млн.руб., ГУ ИС 1,6 млн.руб. В качестве анализируемого объекта анализа приняты и в дальнейшем будут рассматриваться здания сферы ЖКХ, потребляющие наибольшее количество тепловой энергии в ЮВАО. Здания жилищной сферы не отличаются существенными объёмами помещений, но имеют особенностью повышенные требования к соблюдению микроклимата. Поэтому, как правило, система отопления таких зданий зачастую спроектирована с запасом. Энергосберегающие мероприятия в таком случае могут быть различны.

Комплексная целевая территориальная программа энергоресурсосбережения в рассматриваемом округе включает в себя необходимые компоненты: энергосбережение в

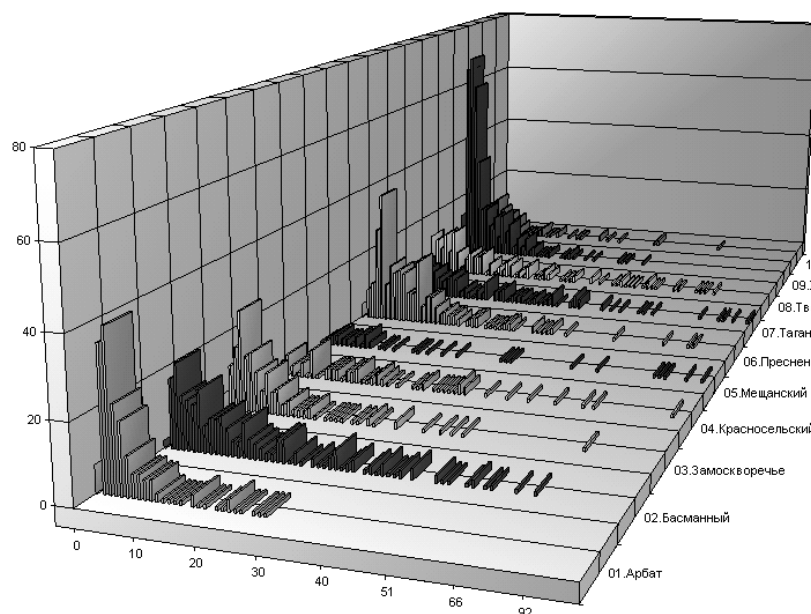
коммунальном комплексе и бюджетной сфере, организационно-экономические, рекламно-образовательные мероприятия, стыкуется с городской и отраслевыми программами энергосбережения. Программа масштабной установки систем учета тепловой энергии и воды реализуется в первые годы на самых окупаемых объектах, при этом высвобождающиеся бюджетные средства реинвестируются в дальнейшее энергосбережение. Завышенное теплотребление зданиями ЮВАО требует внедрения энергосберегающих мероприятий. В целях снижения объёмов энергопотребления в ЮВАО и на основании Постановления Правительства Москвы от 29 декабря 2009 г. №1499-1111 «О ходе реализации Городской целевой программы «Энергосбережение в городе Москве на 2009-2011 гг. и на перспективу до 2020 года» предпринимается ряд энергосберегающих мероприятий, в т.ч. установка автоматизированных узлов регулирования теплотребления с балансировочными клапанами.

Для реализации предложенных в вышеуказанных Постановлениях механизмов рационализации энергозатрат и экономии бюджетных средств на теплоснабжение разработан Порядок организации работ по их выполнению, утвержденный распоряжением Префекта в августе этого года. Эта работа предусматривает два блока: выверку количества поступающих энергоресурсов поставщиками, Дирекциями единого заказчика районов и энергосервисными компаниями, и на этой основе оптимизацию расходования бюджетных средств на основе взаимодействия районов, единого расчетного Центра и казначейского управления. Методика расчета экономии бюджетных ассигнований на возмещение разницы в тарифах на тепловую энергию подразумевает поэтапный механизм коррекции теплотребления на основе данных фактических замеров системами учета.

Управленческие решения, предоставляемые ИАС энергетического менеджмента позволяют, например, производить мониторинг объёмов потребления тепловой энергии и предлагать на основе проведённого анализа корректирующие воздействия. Значения измерений рассматриваемых факторов могут иметь различные уровни детализации. Например, может потребоваться суммарное потребление ресурса потребителями в разных районах округа, либо сумма потребленного ресурса, полученная даже отдельными потребителями. Результирующий набор агрегированных данных во втором случае будет более детальным, чем в первом. Поскольку в общем случае в каждом округе может быть несколько районов, а в районе — несколько ЦТП, говорят об иерархиях значений в измерениях. В этом случае на первом уровне иерархии располагаются округа, на втором — районы, а на третьем — ЦТП (вплоть до конечных потребителей).

Как уже отмечалось ранее, ИАС энергетического менеджмента как инструментальный комплексный анализ, позволяет оперировать как статическими (структурными), так и динамическими (режимными) характеристиками. В частности, с его помощью могут быть получены распределения энергопотребления всех потребителей округа. Это распределение может быть представлено либо в виде таблиц распределения конкретных ЦТП, либо по мощностным диапазонам, либо диаграммами (рис.1).

Установка автоматизированных узлов учета и регулирования температуры теплоносителя (АУУ) в системе отопления или индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) позволяет автоматизировать управление теплотребляющими системами здания. Недостатком ИТП по сравнению с элеваторным узлом является его зависимость от электропитания. Экономия тепловой энергии за счет ликвидации «перетоков» составляет 15—20 % и иногда достигает до 40 %. Вместе с мероприятием обычно также реализуют введение пониженного температурного графика в ночное время и выходные дни. В помещениях зданий общественного и производственного назначения, когда они не используются и в нерабочее время, допускается снижение температуры воздуха до уровня 12 °С, при условии восстановления нормируемой температуры к началу использования помещения через повышение температуры теплоносителя выше требуемой по графику в течение 2—3 ч до начала использования помещения. Мероприятие позволяет суммарно экономить 10—15 % по отношению к прежнему теплотреблению здания.



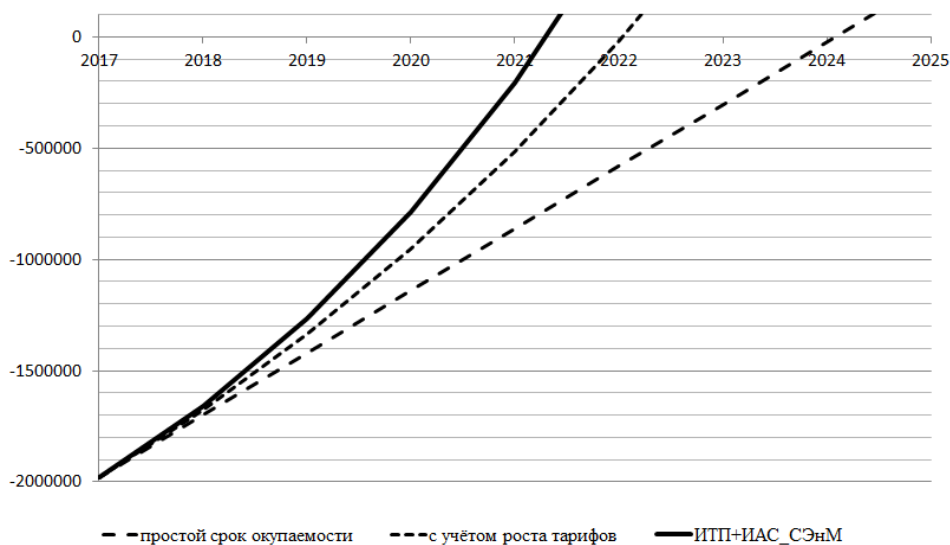
**Рисунок 1. Распределение ЦТП в районах округа по расчетной суммарной мощности.**

Внедрение индивидуальных графиков отопления снижает расход до 20 % в производственных помещениях, до 40 % в административных [1]. Снижение температуры в жилых домах в ночное время позволяет экономить 2—3 % по отношению к теплоснабжению здания [2, п. 5]; регулирование расходов и температур теплоносителя в зависимости от текущего уровня потребностей позволяет экономить значительную (от 15 до 20 %) долю тепловой энергии.

Рассмотрим проект модернизации жилого дома, связанный с проектированием автоматизированного встроенного ИТП для отопления, горячего водоснабжения и вентиляции. Присоединение потребителя теплоты к наружным сетям с параметрами:  $P_1/P_2=7,2/2,7$  атм;  $T_1/T_2=130/70$  °С. Гидравлическое сопротивление внутренних систем отопления - 3,5 м. вод. ст. Систему отопления выполнить по независимой схеме с одним разборным пластинчатым теплообменником на 100% нагрузки и четырьмя насосами (два циркуляционных, два подпиточных) и автоматическим регулированием параметров по температуре. Систему ГВС выполнить по двухступенчатой независимой схеме с двумя пластинчатыми теплообменниками и двумя насосами по циркуляционной схеме с регулированием по температуре и частотным регулированием по давлению. Расход воды на ГВС- 2,95 м<sup>3</sup>/сут., 0,85 л/с. Расчетная температура холодной воды (зима/ лето)- 5/15°С. Напор холодной воды на вводе в ИТП- 24 м. Расчетные тепловые нагрузки: отопление- 0,0582 Гкал/час; ГВС - 0,162 Гкал/час; вентиляция- 0,0819 Гкал/час; всего - 0,3021 Гкал/час.

Исходной информацией для расчета капитальных затрат служат данные проекта: состав оборудования, объем строительных и монтажных работ, нормы и расценки на строительномонтажные работы, прейскурантные или договорные цены на оборудование и материалы. Капитальные затраты в ИТП определяются путём суммирования стоимости оборудования, входящего в ИТП, стоимости строительномонтажных работ, стоимости пуско-наладочных работ. Нормы и расценки на строительномонтажные работы, а также цены на оборудование и материалы взяты в ОАО «МОЭК». Стоимость оборудования: водоподогреватели - 186 150 руб., насосы - 113 052 руб., трубопроводы - 40 867 руб., запорная и регулирующая арматура - 108 536 руб., фильтры - 8 500 руб., система автоматики - 194 586 руб., узел учета теплоты и расхода воды - 140 392 руб., монтаж и зар.плата - 730 915 руб., пуско-наладочные работы - 410 988 руб., стоимость подключения к ИАС СЭиМ - 52 540 руб. Итого стоимость оборудования и пуско-наладочных работ составляет 1 680 000 руб.

Необходимость учёта энергосберегающего эффекта от внедрения ИАС энергетического менеджмента приводит к использованию механизма бенчмаркинга. На основании имеющихся в литературе данных составлена выборка примеров эффективности внедрения СЭнМ. Собранные данные обладают высокой точностью и существенной индивидуальностью, а значит низкой индивидуальной доверительной вероятностью. Агрегирование приведённой выборки [3] с точностью не ниже 75% и доверительной вероятностью  $\gamma \leq 0,99$  позволяет сделать вывод о том, что внедрение системы энергетического менеджмента на предприятиях различного масштаба и специфики функционирования приводит в среднем к снижению объёмов потребления энергетических ресурсов не менее, чем на 8-17% относительно базового уровня. Приняв достигаемый эффект от внедрения ИАС энергетического менеджмента, равный минимально выявленной планке в 8%, определим экономические показатели рассматриваемого проекта (рис. 2).



**Рисунок 2. Аккумулятивный финансовый поток, полученный с учётом внедрения ИАС энергетического менеджмента (ИАС СЭнМ), руб.**

В случае реализации энергосберегающих проектов за собственные средства бюджетный потребитель энергоресурсов, в силу специфики своего бюджетообразования, должен быть заинтересован в выполнении мероприятий с минимальным объемом затрат и малым сроком окупаемости. Рассмотренное мероприятие относится к таковым в силу относительно небольшого срока окупаемости. Результаты расчетов: простой срок окупаемости  $T_0$  составляет 7,1 лет, срок окупаемости с учётом роста тарифов на тепловую энергию  $T_{0, \text{ТАРИФ}}$  равен 5,1 лет. Срок окупаемости с учётом роста тарифов на тепловую энергию и эффекта, привнесённого от использования информационно-аналитической системы энергетического менеджмента,  $T_{\text{ИАС СЭнМ}}$  составляет 4,3 года.

Опираясь на объём тепловой энергии, потребляемой в ЮВАО жилыми зданиями, суммарный потенциал энергосбережения от внедрения АУУ в сочетании с ИАС СЭнМ составляет около 176 млн.руб. в год. Вышесказанное позволяет сделать вывод о целесообразности внедрения ИАС СЭнМ, позволяющей не только повысить качество и оперативность обрабатываемой информации, но и приводящей к сокращению затрат на теплоснабжение жилых зданий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Создание** и деятельность энергосервисных компаний и перформанс-контрактов в России. Т. 1: Энергосервис и перформанс контракты: возможности и проблемы их



реализации в России / С.Б. Сиваев; под ред. И.Г. Грицевич — Всемирный фонд дикой природы (WWF) — М., 2011.

2. **Основы** энергосбережения и повышения энергетической эффективности: учебно-метод. пособие для учр., подвед. Департ. обр. г. Москвы / Г.П. Власенко [и др.]. — М.: Буки-Веди, 2012. — 100 с.

3. **Гужов, С.В.** Внедрение системы энергетического менеджмента как принцип управления затратами на действующих электротехнических комплексах / С.В. Гужов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 3. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. 273 с. стр. 79-89

УДК 662.712

## **ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В УГОЛЬ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА PROCESSING OF WOOD WASTE IN COAL HIGH QUALITY**

**Денис Владимирович Тунцев, Милауша Рашатовна Хайруллина,  
Сергей Васильевич Китаев, Лейсан Шамилевна Асаева  
Denis V. Tuntsev, Milausa R. Khairullina, Sergey V. Kitaev, Leysan S. Asaeva**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
Россия, Казань*

*Kazan National Research Technological University, Russia, Kazan  
(e-mail: tuncsev\_d@mail.ru, 09111991m@gmail.com,  
kitaev-sv@gmt.com.ru, leisanasaeva@mail.ru)*

*Аннотация:* В работе рассмотрены основные направления переработки и утилизации древесных отходов с целью выработки тепловой и электрической энергии. Представлено описание установки «ПУ-10» по переработке древесных отходов и низкокачественной древесины в уголь, описан принцип ее работы.

*Abstract:* The report under discussion general directions of processing and recycling of wood waste to generate thermal and electrical energy. The description of the installation "PU-10" for the processing of wood waste and low-quality wood in coal is presented, the principle of its operation is described.

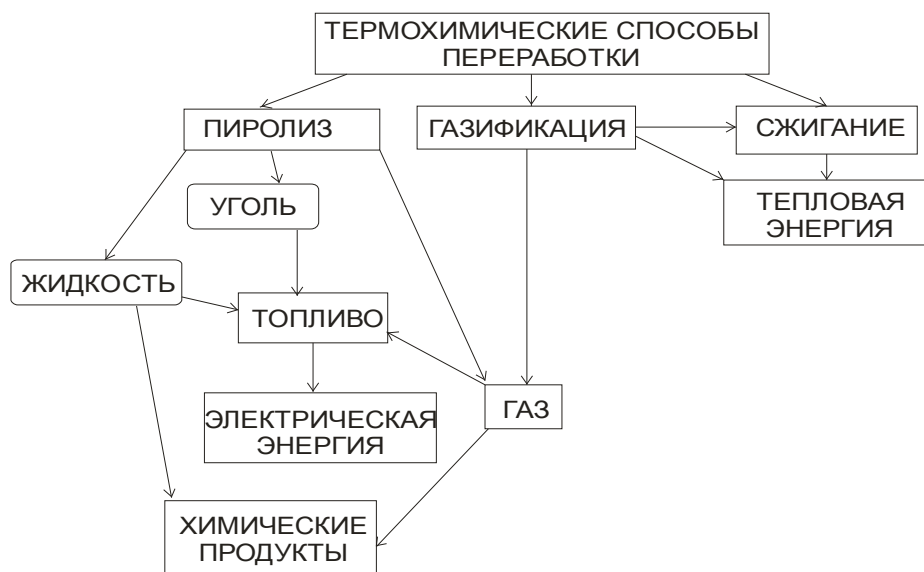
*Ключевые слова:* древесная биомасса, древесные отходы, пиролиз, древесный уголь.  
*Keywords:* wood biomass, wood waste, pyrolysis, charcoal.

Лесной комплекс Российской Федерации, включающий в свой состав лесное хозяйство и лесопромышленные отрасли по заготовке и переработке древесины, занимает важное место в экономике страны. Приоритетными направлениями развития лесного комплекса являются: развитие мощностей по глубокой механической, химической и энергетической переработке древесины; организация рационального, многоцелевого, непрерывного и неистощительного использования лесов [1], а так же эффективная переработка отходов отрасли.

Термохимические методы переработки древесной биомассы позволяют обеспечить комплексную переработку отходов лесозаготовки и низкокачественную древесины с умеренными капитальными затратами в энергию и различные химические продукты.

В настоящее время наибольшее развитие получили три основных направления термохимической переработки биомассы: это пиролиз, газификация и сжигание (рис. 1). Как видно из данной схемы, переработка биомассы позволяет получить различные продукты в зависимости от выбора процесса. При переработке древесной биомассы методом пиролиза возможно получение твердых, жидких и газообразных продуктов. Основным продуктом для дальнейшего применения является древесный уголь. При неполном сжигании биомассы происходит газификация, целью которой является получение генераторного газа, который

может использоваться, как в энергетических целях, так и для дальнейшей переработки в химические продукты.



**Рис. 1 - Термохимические способы переработки древесной биомассы**

Если увеличивать количество окислителя в процессе газификации, то он плавно переходит в процесс горения, основным назначением которого является получение тепловой энергии. Процесс термического разложения является определяющей стадией вышеперечисленных процессов, поскольку обеспечивает первичную трансформацию исходных соединений древесной биомассы в результате сложных цепных химических превращений в жидкие, газообразные и твёрдые промежуточные продукты. В зависимости от внешних условий и свойств сырья состав и количество продуктов термического разложения сильно изменяется, что в свою очередь влияет на эффективность термохимических процессов [3].

Технология пиролиза представляет собой процесс термического разложения органических соединений без доступа кислорода при относительно низких температурах (350-550°C) по сравнению с процессами газификации (800-1300°C) и горения (900-2000°C) [4]. Пиролиз является эффективным методом термохимической переработки биомассы и одновременно одной из наименее развитых технологий ее переработки.

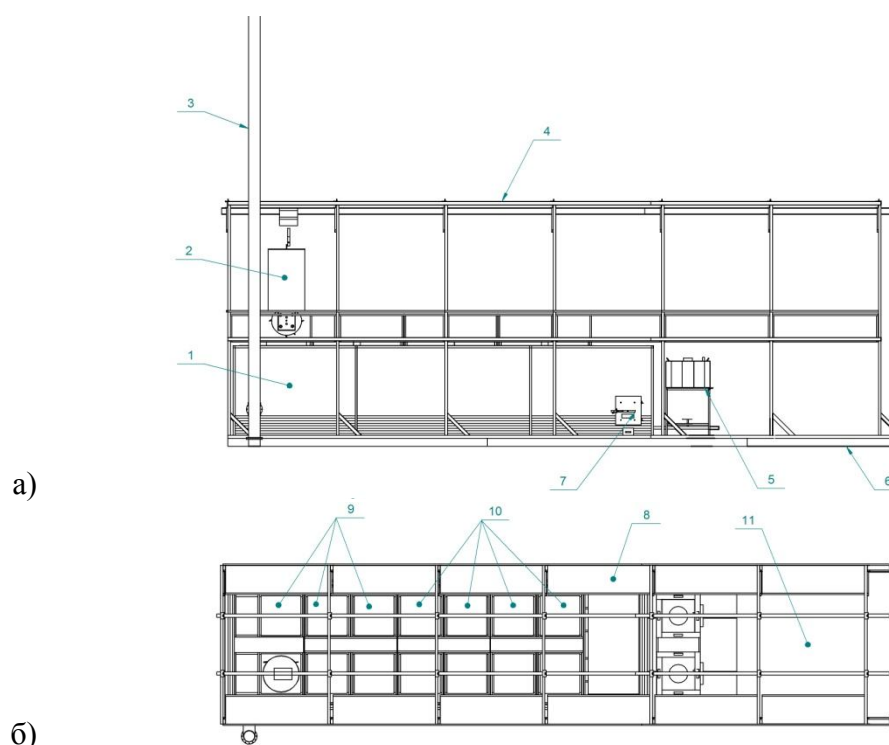
Наряду с большим разнообразием способов пиролиза древесины можно выделить способ в печах ретортного типа непрерывного действия, как наиболее перспективный, для производства древесного угля [5]. Этот способ является высокопроизводительным, высокоэффективным и рентабельным.

Рассмотрим установку по переработке древесных отходов и низкокачественной древесины в уголь. Установка «ПУ-10» (рис. 2) представляет собой печное устройство, технические характеристики которого приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Технические характеристики установки «ПУ-10»**

№ пп.	Параметр, единица измерения	Величина
1.	Производительность: - по исходному сырью (древесина), м <sup>3</sup> /сутки (м <sup>3</sup> /год) - получаемому продукту (уголь), кг/сутки (кг/год)	10 (3 300) 1000 (330 000)
2.	Исходная абсолютная влажность сырья, %, до	100
3.	Размер перерабатываемого сырья, мм, не более: Диаметр*Ширина	500*1700
4.	Напряжение, В	380
5.	Суммарная электрическая мощность электротельферов, кВт, не более:	4
6.	Габаритные размеры, мм: - ДхШхВ	18790x5050x12220

Конструктивно установка состоит из кирпичной кладки 1 внутри, которой находятся камера горения, газораспределительные стенки, шесть отсеков сушки и восемь отсеков пиролиза.

**Рис. 2. Принципиальная схема устройства «ПУ-10»:**

**а) вид с боку; б) вид сверху**

- 1 – печь; 2 – реторта; 3 – выхлопная труба; 4 – кран; 5 – выгрузочное устройство;  
6 – фундамент; 7 – дверца топки; 8 – трапы; 9 – люки сушильных отсеков,  
10 – люки пиролизных отсеков, 11 – площадка остывания реторт

Реторты 2 с сырьём при помощи крана 4 загружаются в свободные отсеки сушки через открытые люки 9. Все реторты поочередно переставляются из сушильных отсеков в пиролизные отсеки через люки 10, где начинается реакция пиролиза. Пиролизный газ подаётся в камеру горения, а полученное тепло подаётся в отсеки пиролиза, затем в отсеки сушки и отработанный топочный газ отводится через выхлопную трубу 3. Розжиг печи и поддержание температуры осуществляется через дверцы топки 7. По завершению процесса пиролиза реторты с готовым продуктом (древесный уголь) выгружаются краном на площадку для остывания 11, после чего освобождаются от продукта в выгрузочных

устройствах 5. Пустые реторты вновь подаются на загрузку сырьем. Перемещение рабочих при обслуживании установки осуществляется по трапам 8.

Представленная установка термического разложения низкокачественной древесины и древесных отходов позволяет эффективно перерабатывать сырье в уголь высокого качества с выходом до 30% по массе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тунцев Д.В., Хисматов Р.Г., Хайруллина М.Р., Савельев А.С., Романчева И.С. Современные направления переработки древесной биомассы // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. №2-1(13-1). С. 464-468.

2. Тунцев Д.В., Сафин Р.Г., Касимов А.М., Хайруллина Э.К., Мусин Х.Г., Савельев А.С. Промышленная установка двухэтапной термической переработки отходов лесного комплекса // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. №15. С. 132-134.

3. Хисматов Р.Г., Хисматова Е.В., Тунцев Д.В., Хайруллина М.Р., Савельев А.С., Романчева И.С. Установка переработки низкокачественной древесины в уголь // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. №22. С. 297-300.

4. Тунцев Д.В., Хисматов Р.Г., Касимов А.М., Романчева И.С., Савельев А.С. Схема промышленной установки для переработки отходов лесного комплекса // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 3-2 (8-2). С. 445-448.

5. Пат. 2582698 Российская Федерация, МПК С 10 .В 57/10. Способ термической переработки органосодержащего сырья и установка для его осуществления / Тунцев Д.В., Сафин Р.Г., Хисматов Р.Г., Тимербаев Н.Ф., Сафина А.В., Касимов А.М., Хайруллина М.Р., Арсланова А.Р., Антипова Э.Е. ; заявитель и патентообладатель Казан. нац. исслед. технол. ун-т. - № 2014154234/05 ; заявл. 29.12.2014 ; опубл. 27.04.2016, Бюл. №12. – 8 с. : ил.

УДК 621. 791

#### РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ НА СТАДИИ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С УГЛОВЫМИ ШВАМИ

#### THE ISSUES OF RESOURCE CONSERVATION UNDER CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL DESIGNING OF WELDED JOINTS WITH CORNER SEAMS

**Валерий Владимирович Ерофеев\*, Роберт Гарафиевич Шарафиев\*,  
Андрей Геннадьевич Игнатьев\*\*, Леонид Владимирович Макаров\*\*\***

**Valeriy V. Erofeev\*, Robert G. Sharafiev\*,  
Andrey G. Ignatiev\*\*, Leonid V. Makarov\*\*\***

*\*Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, Уфа  
\*Ufa state oil technical university, Russia, Ufa  
(e-mail: ervv52@mail.ru)*

*\*\* Южно-Уральский государственный аграрный университет, Россия, Троицк  
\* South Ural state agrarian University, Russia, Troitsk  
(e-mail: ervv52@mail.ru)*

*\*\*\* ООО «НПЦ Нефтегазинжиниринг», Россия, Уфа  
LLC SPC«Neftegazinhiniring», Russia, Ufa  
(e-mail: leonid.ufa@mail.ru)*

*Аннотация:* В рамках настоящих исследований на примере тавровых сварных соединений с равнокатетными угловыми швами рассмотрены особенности расчета остаточных сварочных напряжений в сварных соединениях. Предложены практические

рекомендации по снижению уровня остаточных сварочных напряжений на стадии конструктивно-технологического проектирования сварных тавровых соединений за счет оптимизации геометрических параметров угловых швов при различных способах сварки.

*Abstract:* In the framework of these studies are t-welded joints with corner seams equal leg the features of the calculations residual welding stresses in welded joints. Practical recommendations for decreasing of level residual welding stresses at the stage of constructive-technological design are welded t-joints by optimizing the geometric parameters of the fillet welds at various welding methods.

*Ключевые слова:* сварные соединения с угловыми швами, конструктивно-технологическое проектирование, остаточные напряжения, методы расчета остаточных напряжений.

*Keywords:* welded joints with corner seams, the constructive-technological design, residual stress, methods a calculation of residual stresses.

В настоящее время первостепенное значение приобретают решение задач, направленных на снижение металлоемкости сварных конструкций и себестоимости их изготовления. К сожалению, решение данных вопросов затруднено до сих пор в связи с действием ряда нормативных документов (ГОСТов, СНиПов и др.), не актуализированных с учетом последних достижений научно-технического прогресса, и требует разработки или модернизации существующих методов расчета на прочность сварных соединений.

В настоящее время в России и за рубежом выполнены обширные исследования, посвященные развитию и усовершенствованию методов расчета на прочность сварных соединений. При этом основное внимание уделялось стыковым соединениям, которые, как правило, являются наиболее ответственными с точки зрения прочности металлоконструкций. Существенно меньшее внимание было уделено исследованиям в области прочности сварных соединений с угловыми швами. Между тем такие соединения наиболее широко применяется при изготовлении сварных металлоконструкций и по некоторым данным составляют более 70% от объема их сварных соединений.

Значительный вклад в разработку вопросов прочности сварных соединений с угловыми швами внесли Г.А. Николаев, В.А. Винокуров, А.Е. Аснис, В.М. Барышев и другие ученые.

Однако, разработанный на базе данных подходов нормативный метод расчета на прочность сварных соединений с равнокатетными угловыми швами, положенный в основу нормативного документа СНиП II-23-81 [1], является в значительной степени условным. В нем принимается, что разрушение равнокатетных угловых швов происходит по сечению, совпадающему с биссектрисой прямого угла, расположенного у основания шва, а глубина проплавления учитывается путем введения параметра  $\beta$ , зависящего от режимов и способа сварки [2]

$$P = [\tau']\beta Kl, \quad (1)$$

где  $[\tau'] = (0,6 \dots 0,65)[\sigma']$ ; ( $[\tau']$ ,  $[\sigma']$  – соответственно допускаемые напряжения при чистом сдвиге и при растяжении металла шва);  $K$ ,  $l$  – соответственно катет и длина углового шва:

$\beta = \frac{H_{\text{пр}}}{K}$  – параметр, определяющий глубину проплавления в направлении сварочной дуги.

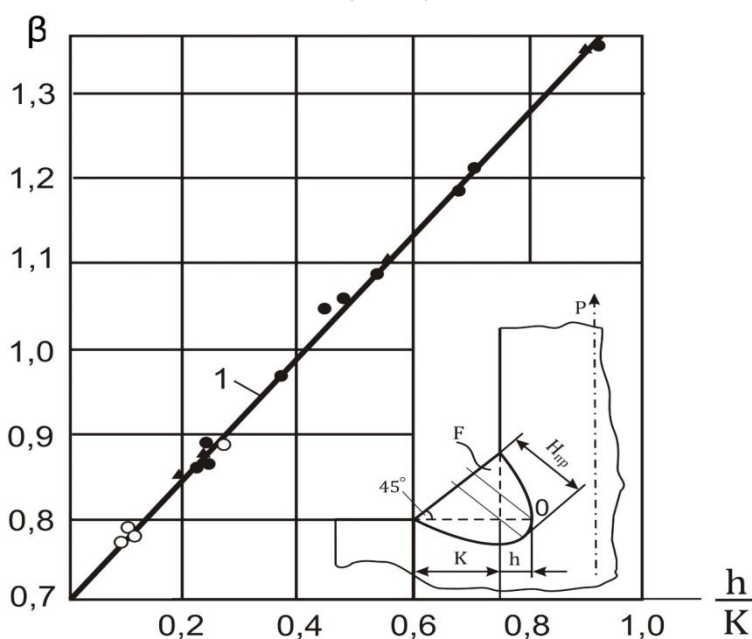
В соответствии с рекомендациями данной работы [2] при распространении методики расчета для сварных соединений, выполненных угловыми швами за один проход с применением различных способов сварки, следует принимать:  $\beta = 0,7$  – для ручной дуговой сварки (РДС);  $\beta = 0,9$  – для механизированной дуговой сварки (МДС);  $\beta = 1,1$  – для автоматической дуговой сварки (АДС) и т.п.

Анализ расчетных и экспериментальных данных, выполненный в работе [3], свидетельствует, что фактический запас прочности рассматриваемых соединений значительно выше расчетного, что в условиях широкого применения сварных соединений с

угловыми швами приводит, с одной стороны, к необоснованному перерасходу сварочных материалов и трудозатрат и, с другой стороны, не позволяет провести оптимизацию конструктивно-технологических параметров сварных соединений с точки зрения снижения объема наплавленного металла. В этой связи весьма актуальным является уточнение методов расчета на прочность рассматриваемых соединений, позволяющих провести актуализацию соответствующих нормативных документов.

В работе [3] предпринята попытка усовершенствования нормативного метода расчета сварных тавровых соединений, позволяющих оценить несущую способность рассматриваемых соединений с неравнокатетными швами с учетом глубины проплавления вертикальной стенки соединения. Полученные в данной работе соотношения позволяют провести оценку несущей способности сварных тавровых соединений с равнокатетными швами. Рассматривая данный подход на базе использования принятых в нормативном расчете исходных допущений и положений, а именно, что опасное сечение (поверхность предполагаемого разрушения) направлено под углом равным  $45^\circ$  к основанию углового шва и смещено от биссектрисы прямого угла (данная поверхность разрушения исходит из точки О, определяющей глубину проплавления стенки тавра  $h$  (рис.1) было получено следующее выражение для расчета на прочность сварных соединений с равнокатетными угловыми швами

$$P = [\tau'] 0,7 \left( 1 + \frac{h}{K} \right) Kl. \quad (2)$$



**Рис. 1. Сравнение расчетных (прямая 1) и экспериментальных данных  $\beta$  ( $h/K$ ) (o – сварка в лодочку под слоем флюса; • - сварка в лодочку в защитных газах; ▲ - сварка в наклонном положении [7])**

Сопоставляя расчетные соотношения, положенное в основу нормативного метода расчета на прочность сварных тавровых соединений (1) и полученное на основании подхода, рассмотренного в работе [3] (соотношение (2), можно получить выражение для определения

$$\text{параметра } \beta = \frac{H_{np}}{K}$$

$$\beta = 0,7 \left( 1 + \frac{h}{K} \right). \quad (3)$$

Полученное расчетное соотношение для оценки параметра  $\beta$  позволяет использовать нормативный метод расчета при определении прочности сварных соединений с равнокатетными швами, выполненных различными способами сварки при наличии информации об относительной глубине проплавления стенки сварного соединения  $h/K$ .

В качестве примера в таблицах 1 и 2 представлены экспериментальные данные работы [4] для тавровых соединений, выполненных в симметричную лодочку и в наклонном положении механизированной и автоматической сваркой под слоем флюса и в среде защитных газов ( $CO_2$ ) при различных режимах сварки ( $d_3, I_{св}$ ). Здесь же приведены глубина проплавления в направлении сварочной дуги  $H_{пр}$ , параметр  $\beta$ , глубина проплавления вертикальной стенки соединения  $h$  и относительная глубина  $h/K$ , полученные пересчетом по методике работы [5].

**Таблица 1. Механизированная и автоматическая сварка под слоем флюса**

К, мм	$d_3$ , мм	$K_a$ , мм/А	$I_{св}$ , А	$H_{пр}$ , мм	$\beta$	Н, мм	h/K
6	2	1,55	400	6,20	1,03	2,60	0,43
8	2	1,55	450	6,97	0,87	1,96	0,24
6	3	1,45	500	7,25	1,21	4,36	0,73
8	3	1,45	600	8,70	1,09	4,43	0,55
6	4	1,35	600	8,10	1,35	5,67	0,93
8	4	1,35	650	9,43	1,18	5,47	0,68
8	5	1,20	725	8,40	1,05	4,00	0,50
10	5	1,20	800	9,60	0,96	3,70	0,37
12	5	1,20	850	10,2	0,85	2,60	0,25

**Таблица 2. Механизированная и автоматическая сварка в защитных газах**

К, мм	$d_3$ , мм	$K_a$ , мм/А	$I_{св}$ , А	$H_{пр}$ , мм	$\beta$	h, мм	h/K
4	2	1,56	220	3,41	0,85	0,87	0,21
4	3	1,46	380	5,37	1,34	3,67	0,92
5	2	1,55	280	4,34	0,87	1,2	0,24
5	3	1,45	480	6,96	1,39	4,94	0,99
7	2	1,55	400	6,20	0,89	1,86	0,265
7	3	1,45	530	7,69	1,10	3,99	0,57
4	1,6	1,75	180	3,15	0,79	0,50	0,125
6	2,0	1,55	300	4,65	0,79	0,64	0,11
7	2,0	1,55	350	5,42	0,77	0,74	0,106
5	1,6	1,75	260	4,55	0,91	1,5	0,30
6	1,6	1,75	300	5,25	0,85	1,5	0,25

В частности,

$$H_{пр} = \frac{I_{св} K_a}{100}, \text{ мм} \quad (4)$$

где  $K_a$  - некоторый параметр, зависящий от диаметра электрода или сварочной проволоки (таблица 3).

**Таблица 3. Зависимость параметра  $K_a$  от  $d_3$**

$d_3$ , мм	1,2	1,4	1,6	2	3	4	5
$K_a$ , м/А	2,1	2	1,75	1,55	1,45	1,35	1,2

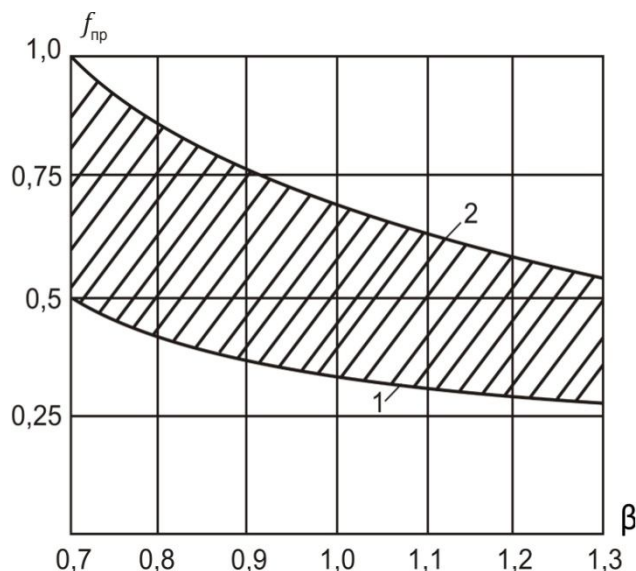
На рис. 1 приведено сопоставление расчетных значений  $\beta$ , подсчитанных по соотношению (2) (прямая 1) и значений  $\beta$ , полученных для тавровых соединений на основании обработки экспериментальных данных, приведенных в таблицах 1 и 2.

Предлагаемый подход корректировки нормативного расчета прочности позволяет рассчитать оптимальные конструктивно-геометрические параметры рассматриваемых сварных соединений (размер катета, глубину проплавления и т.п.) обеспечивающие снижение объема наплавленного металла при сохранении требуемого уровня их допускаемых напряжений и экономию сварочных материалов (электродов, сварочных проволок) при изготовлении и ремонте металлоконструкций.

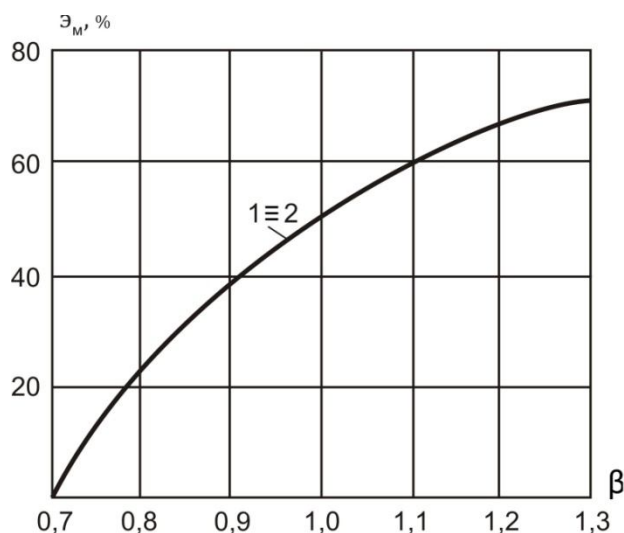
В частности, в соответствие с рекомендациями нормативного документа [1] при выборе основного параметра равнокатетных угловых швов (катета  $K$ ), выполненных однопроходной ручной дуговой сваркой без проплавления вертикальной стенки тавровых соединений, исходят из допущения, что оптимальные размеры катета должны находиться в диапазоне значений  $K/t = 0,5 \dots 1,0$ . В соответствие с предлагаемым подходом, учитывающим наличие глубины проплавления вертикальной стенки  $h$ , данный диапазон относительных размеров катетов существенно уменьшается (рис. 2) и может быть определен из следующего соотношения [6]

$$\frac{K}{t} = (0,5 \dots 1,0) f_{np}; \quad f_{np} = \frac{0,7}{\beta} \quad (5)$$

Уменьшение диапазона значений позволяет существенно снизить объем наплавленного металла. На рис. 3 в качестве примера приведена зависимость, показывающая (в %) экономию объема наплавленного металла при увеличении параметра  $\beta$ , которое может быть обеспечено за счет регулирования режимов сварки, обеспечивающих требуемую относительную глубину проплавления стенки конструкций  $h/K$ .



**Рис.2. Зависимость диапазона оптимальных значений  $K/t$  от параметра  $\beta$  (1- нижняя и 2- верхняя граница диапазона)**



**Рис. 3. Экономия наплавленного металла при изготовлении тавровых соединений с угловыми швами (1 -  $t=20$ мм; 2 -  $t=10$ мм)**



1. СНиП II -23-81. Часть 2. Нормы проектирования. Глава 23. Стальные конструкции. - М.: 1982.- С.37-39.
2. Николаев Г.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование /Г.А. Николаев, В.А. Винокуров.- М.: Высшая школа, 1990.-447с.
3. Когут Н.С. Несущая способность сварных соединений /Н.С. Когут, М.В. Шахматов, В.В. Ерофеев. – Львов: Свит,–1991.–164с.
4. Сварка. Резка. Контроль. Справочник /Н.П. Алешин, Г.Г. Чернышев, О.И. Стеклов и др. – М.: Машиностроение, 2004.– 480с.
5. Шахматов М.В. Технология изготовления и расчет сварных оболочек /М.В. Шахматов, В.В. Ерофеев, В.В. Коваленко. –Уфа: Полиграфкомбинат, 1999.- 272с.
6. Ерофеев В.В. К вопросу о снижении объема наплавленного металла при изготовлении и ремонте металлоконструкций объектов АПК /В.В. Ерофеев, С.А. Уржумцева, Р.Г. Шарафиев //Материалы Международной научно-практической конф.: Достижения науки – агропромышленному производству.- Челябинск, ЮУрГАУ, ИАИ. - Ч.2. - 2016. - С. 5–8

УДК 662.99

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕКТОРА КОММУНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ  
ПОСТРОЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ УСТАНОВОК  
MODERNIZATION OF THE SECTOR OF COMMUNAL ENERGY BASED ON  
CONSTRUCTION OF ENERGY-SAVING INSTALLATIONS**

**Павел Павлович Безруких\*, Федор Анатольевич Поливода\*,  
Леонид Алексеевич Шатров\*\*, Татьяна Игоревна Набатчикова\*\*\*  
Pavel P. Bezrukikh\*, Fedor A. Polivoda\*, Leonid A. Shatrov\*\*,  
Tatiana I. Nabatchikova\*\*\***

*\*ОАО «ЭНИН им. Г.М. Кржижановского», Россия, Москва*

*\*JSC ENIN it. G.M. Krzhizhanovskogo, Russia, Moscow*

*(e-mail: polivoda@eninnet.ru)*

*\*\*Российский Государственный университет им. А.Н. Косыгина, Россия, Москва*

*\*\*The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow*

*(e-mail: shatrovleonid@mail.ru)*

*\*\*\*МГУПС(МИИТ) Императора Николая II, Россия, Москва*

*MGUPS (MIIT) of the Emperor Nicholas II, Russia, Moscow*

*(e-mail: tatina25129311@rambler.ru)*

*Аннотация:* Актуальной задачей коммунального хозяйства является модернизация систем теплоснабжения городов на базе внедрения энергосберегающих технологий, и в частности, систем, способных производить электрическую энергию непосредственно на промышленной площадке водогрейной котельной. Тем самым решается вопрос повышения надежности котельной при отключении внешнего электрического питания. Эксергетическая эффективность новой технологии может достигать до 84 %.

*Abstract:* The urgent task of the municipal economy is the modernization of heat supply systems of cities on the basis of the introduction of energy-saving technologies, and in particular systems capable of producing electric power directly on the industrial site of a hot-water boiler house. This solves the problem of increasing the reliability of the boiler when the external electric power is cut off. The efficiency of the new technology can reach up to 84%.

*Ключевые слова:* система теплоснабжения, надежность, эксергия, тепловые потери

*Keywords:* heat supply system, reliability, exergy, heat losses

К настоящему времени в области коммунальной тепловой энергетики, особенно малых городов РФ, сложилась ситуация, когда потребители в зимний период оказываются заложниками централизованной системы энергоснабжения. Нередки случаи отключения фидера электрического питания местных котельных, при которых останавливаются сетевые насосы и другое оборудование котельной. При этом потребители могут замёрзнуть; будут повреждены абонентские отопительные установки. Вопросы автономии электроснабжения котельной и повышения её надёжности, как правило, решаются путем монтажа на площадке котельной дизель-генератора (ДЭС) или газотурбинной установкой (ГТУ) малой мощности. Недостатки предложенных решений очевидны: для ДЭС это необходимость постоянного пополнения хранилищ жидкого топлива, высокая цена, большой шум и уровень загрязнений. Для ГТУ - большие выбросы по оксидам азота, низкая эффективность использования в период межсезонья, необходимость выхода на внешние электрические сети с целью обеспечения сброса перетоков электрической энергии. Кроме того, в ряде регионов РФ, где отсутствует газификация, ГТУ вообще неприменимы.

В ЭНИНе им.Г.М. Кржижановского разработана новая технология построения электрогенерирующих установок, позволяющих производить электрическую энергию из теплоты низкого потенциала, с температурой источника всего  $+90\dots+130^\circ\text{C}$ . Это могут быть промышленные сточные воды, тепловые выбросы текстильных предприятий, геотермальная теплота, горячая вода, производимая на квартальной котельной и пр. Наиболее актуально размещение новых установок в существующих котельных, в кварталах с плотной городской застройкой, а также на геотермальных источниках, где имеется большой дебит горячей воды. Крайне необходимы новые установки в регионах Сибири, Крайнего Севера, где имеется местное дешевое твёрдое топливо (каменный и бурый уголь, торф, древесные отходы и пр.), а природный газ отсутствует. Сущность технологии состоит в применении для паросилового цикла органического рабочего тела (РТ), которое вместо водяного пара обладает целым рядом преимуществ, главное из которых состоит в меньшей температуре кипения при нормальных условиях и меньшими давлениями паров вблизи критической точки; возможностью конденсации РТ при низких (отрицательных) температурах (при  $t < 0^\circ\text{C}$ .)

Кроме очевидного нового качества – возможности производства электрической энергии прямо на площадке водогрейной котельной, энергоустановка обладает другим важным достоинством – высоким эксергетическим КПД всей системы в целом. Рассмотрим эксергетический баланс модернизированной котельной, рис. 1. Эксергетический КПД новой энергоустановки может быть определён согласно [1] как:

$$\eta_e = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{E_{\text{хим}}}, \quad (1)$$

где  $E_{\text{хим}}$  – химическая эксергия исходной единицы применяемого на котельной топлива, [МДж];  $\sum_{i=1}^n D_i$  – сумма невозполнимых (диссипативных) тепловых и механических потерь, включая унос части исходной эксергии с дымовыми газами  $D_1$ , тепловые потери в окружающую среду  $D_2$ , потери в электрогенераторе  $D_3$ , гидравлические потери в проточной части турбины  $D_4$ , и др.. Как известно, Z. Rant [2] предложил все виды необратимых потерь обозначать как «D». В свою очередь, химическую эксергию исходного топлива, названную вышеуказанным автором как «*Technische Arbeitsfähigkeit*» (нем.), можно представить в виде:

$$E_{\text{хим}} = bQ_{\text{н}}$$

где  $Q_{\text{н}}$  – низшая теплота сгорания топлива [МДж/кг],  $b$  – секундный расход топлива, [кг], подаваемого в пиковый котел, подвергнутого реконструкции.

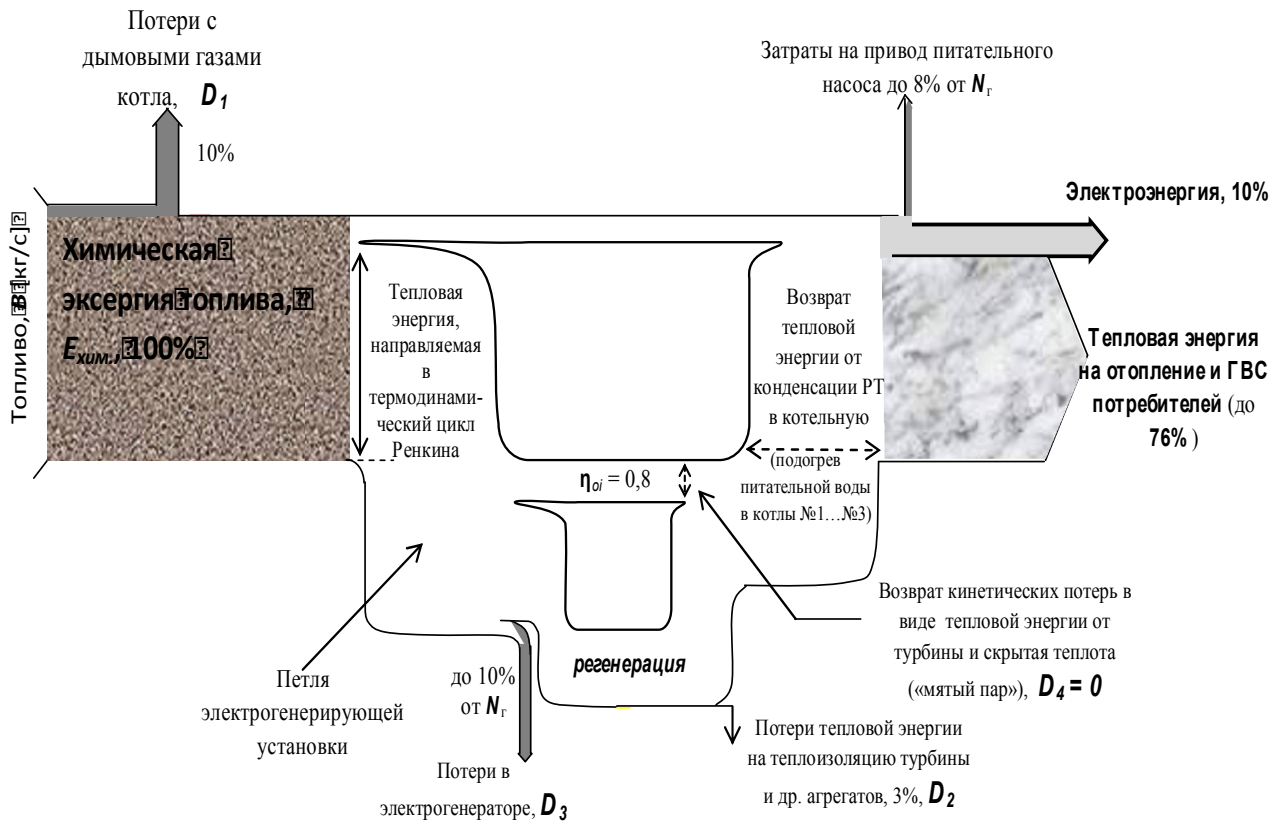


Рис. 1. Эксергетический баланс электрогенерирующей установки на котельной.

Заметим, что характерные величины потерь эксергии в новой энергоустановке составляют:  $D_1 = (0,08...0,15)E_{хим}$ ;  $D_2 = (0,01...0,03)E_{хим}$ ;

$$D_3 = (1 - \eta_{эг}) \cdot N.$$

где  $\eta_{эг} = 0,91...0,98$  – КПД электрогенератора,  $N$  – электрическая установочная мощность генератора, [МВт]. Величина  $D_1$  обусловлена КПД водогрейного котла,  $\eta_k$ ;  $D_2$  – мероприятиями по обеспечению тепловой изоляции агрегатов установки. Поскольку температурные напоры не велики (максимальная температура не выше  $+170^\circ\text{C}$ ), изоляция может быть выполнена из недорогих материалов, и с обеспечением тепловых потерь на уровне 1...3%.

Мощность электрогенератора  $N$  определяется по формуле:

$$N = \eta_{уст.} \cdot Q_{подв} = \eta_{уст.} \cdot \eta_k \cdot E_{хим}$$

где  $Q_{подв}$  – подведенная к парогенератору РТ тепловая мощность,  $\eta_{уст.}$  – КПД энергоустановки по выработке электроэнергии (нетто):

$$\eta_{уст.} = \eta_t \cdot \eta_{эг} \cdot \eta_{то.}$$

где  $\eta_t$  – термодинамический КПД паросилового  $ORG$  – цикла Ренкина [3]. По предварительным подсчётам для водогрейной котельной можно ориентировочно принять:  $\eta_{уст.} = 0,15...0,2$ ;  $\eta_{то.} = 0,97...0,99$  – КПД теплообменного оборудования.

Все другие составляющие потерь эксергии  $D_i$  можно положить равными нулю, поскольку какого-либо другого невосполнимого теплообмена с окружающей средой энергоустановка не имеет. Гидравлические потери турбины  $\eta_{oi}$  преобразуются в тепловые, что ведёт к нагреву РТ, поступающего в конденсатор; потери в питательном насосе ведут к нагреву РТ в ходе адиабатного сжатия; потери эксергии в теплообменном оборудовании в

конечном счёте трансформируются в тепловые, и утилизируются в конденсаторе; причем часть низкопотенциальных потерь дополнительно может быть использована для подогрева холодной питательной воды ( $t_{х.в.} = +5^{\circ}\text{C}$ ), поступающей в систему ХВО котельной.

Таким образом, суммарные потери эксергии (анергию) получаем в виде:

$$\sum_{i=1}^3 D_i = D_1 + D_2 + D_3 = [0,1+0,03+(1-0,93)\cdot 0,15\cdot 0,97]\cdot E_{\text{хим}} \approx 0,14 E_{\text{хим}}.$$

Из уравнения (1) следует, что общий эксергетический КПД установки составит:

$$\eta_e = 1 - \frac{0,14 \cdot E_{\text{хим}}}{E_{\text{хим}}} = 0,86 \text{ (или 86\%)}.$$

Очевидно, что данная энергоустановка аналогична ТЭЦ на тепловом потреблении [4], которая в идеальном случае имеет КПД близкий к единице. Необходимо отметить, что расчёт эксергетического КПД  $\eta_e$  произведён с учётом потерь эксергии  $D_1$  через дымовую трубу, что было ранее и до модернизации котельной. Если вести оценку именно самой модернизации, то в этом случае эксергетический КПД новой установки составит до  $\eta_e = 0,96$  (или 96%). Следовательно, почти вся теплота, подведённая к энергоустановке через парогенератор, полезно используется потребителем; лишь 4% составляют потери исходной (химической) эксергии топлива, что говорит о высокой эффективности модернизации котельной.

На новую энергоустановку авторским коллективом получен патент на полезную модель № 151465 [5].

В заключение заметим, что основной энергосберегающий эффект достигается в новой технологии за счет максимального использования теплоты сгорания топлива. При этом, в энергоустановке производится выработка наиболее ценного и универсального вида энергии – *электроэнергии*, что возможно лишь в автономном режиме при использовании технологии ДЭС. Это, в свою очередь, сопряжено с большой стоимостью 1 кВт·часа произведенной электроэнергии (при технологии ДЭС она составляет от 14 до 60 руб. за 1 кВт·ч; в зависимости от региона); сложностью доставки дизтоплива в регионы Крайнего Севера; плохой экологической обстановкой вблизи ДЭС. Рекуперация теплоты, отработавшей в паросиловом цикле, позволяет получать горячую воду для теплоснабжения потребителей; использовать сбросную теплоту для подогрева холодной питательной воды для системы подпитки тепловой сети.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 16-08-00438-а.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бродянский В.М. Термодинамический анализ низкотемпературных процессов. М.: МЭИ, 1966. 177 с.
2. Z. Rant. Forschung Ing., 1956. Wes. 22. №1. S.7-36.
3. Поливода Ф.А., Щебаков В.П., Морозова Ю.В., Ямчук А. И. Концепция автономного городского района энергоснабжения с системой распределенной электрогенерации на базе низкопотенциальных энергоустановок (НЭС) и малых гидротурбин. // Промышленная энергетика. 2013. №7. С.5- 8.
4. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: МЭИ, 2001. 476 с.
5. П.П. Безруких, Ф.А. Поливода, А.В. Мальцева, М.А. Владимиров, В.П. Щербаков, А.И. Ямчук. Комбинированная тепло и электрогенерирующая энергоустановка. Патент на полезную модель № 151465. Кл. МПК 5:25В24/00. 10.04.2015.

УДК 621. 791

**СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ С УГЛОВЫМИ ШВАМИ НА СТАДИИ ИХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**  
**REDUCING THE LEVEL OF RESIDUAL WELDING STRESSES IN WELDED JOINTS WITH CORNER SEAMS ON THEIR STAGE CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL DESIGN**

**Валерий Владимирович Ерофеев\***, **Роберт Гарафиевич Шарафиев\***,  
**Андрей Геннадьевич Игнатьев\*\***, **Леонид Владимирович Макаров\*\*\***  
**Valeriy V. Erofeev\***, **Robert G. Sharafiev\***,  
**Andrey G. Ignatiev\*\***, **Leonid V. Makarov\*\*\***

*\*Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, Уфа*  
*\*Ufa state oil technical university, Russia, Ufa*  
*(e-mail: ervv52@mail.ru)*

*\*\* Южно-Уральский государственный аграрный университет, Россия, Троицк*  
*\* South Ural state agrarian University, Russia, Troitsk*  
*(e-mail: ervv52@mail.ru)*

*\*\*\* ООО «НПЦ Нефтегазинжиниринг», Россия, Уфа*  
*LLC SPC«Neftegazinzhiniring», Russia, Ufa*  
*(e-mail: leonid.ufa@mail.ru)*

*Аннотация:* В рамках настоящих исследований на примере тавровых сварных соединений с равнокатетными угловыми швами рассмотрены особенности расчета остаточных сварочных напряжений в сварных соединениях. Предложены практические рекомендации по снижению уровня остаточных сварочных напряжений на стадии конструктивно-технологического проектирования сварных тавровых соединений за счет оптимизации геометрических параметров угловых швов при различных способах сварки.

*Abstract:* In the present studies of t-welded joints with corner seams equal leg the features of the calculation are residual welding stresses in welded joints. Practical recommendations for decreasing of level residual welding stresses at the stage of constructive-technological design are welded t-joints by optimizing the geometric parameters of the fillet welds at various welding methods.

*Ключевые слова:* сварные соединения с угловыми швами, конструктивно-технологическое проектирование, остаточные напряжения, методы расчета остаточных напряжений.

*Key words:* welded joints with corner seams, the constructive-technological design, residual stress, methods of calculation are residual stresses.

Совершенствование технологии изготовления металлоконструкций связано с разработкой рационального технологического процесса, обеспечивающего минимальный допустимый уровень остаточных сварочных напряжений, гарантирующий соблюдение требований по их работоспособности в различных условиях эксплуатации. Как правило, данные требования по уровню остаточных напряжений обеспечиваются выполнением различных технологических операций, выполняемых после сварки конструкций (термообработки и т.п.), которые во многих случаях являются большими энергозатратными процессами и не способствуют снижению экономичности изготовления сварных металлоконструкций.

В настоящее время в России и за рубежом выполнены обширные исследования, посвященные учету влияния остаточных напряжений на работоспособность сварных металлоконструкций. Однако, практически остаются без рассмотрения вопросы оценки

влияния остаточных напряжений на прочность сварных соединений с угловыми швами.

В настоящей работе предлагается один из подходов, позволяющих на стадии конструктивно-технологического проектирования сварных соединений установить оптимальные геометрические параметры сварных соединений, обеспечивающие минимальный уровень остаточных напряжений при использовании различных способов сварки (ручной дуговой, механизированной и автоматической сварки).

Рассмотрим данный подход на примере изготовления тавровых соединений с равнокатетными угловыми швами.

В результате сварки неравномерные по толщине  $t$  пластические деформации, возникающие в процессе усадки наплавленного металла, вызывают поворот пластины относительно первоначального горизонтального положения на угол  $\theta$  (рис. 1,а). В частности, при выполнении тавровых соединений, выполненных из конструкционных сталей с двумя однопроходными угловыми швами, данный угол  $\theta$  зависит от ряда параметров и может быть подсчитан по соотношению, приведенному в [1], полученному в результате обработки экспериментальных данных

$$\theta = 0,1 \left( \frac{K}{t} - 0,1 \right), \quad (1)$$

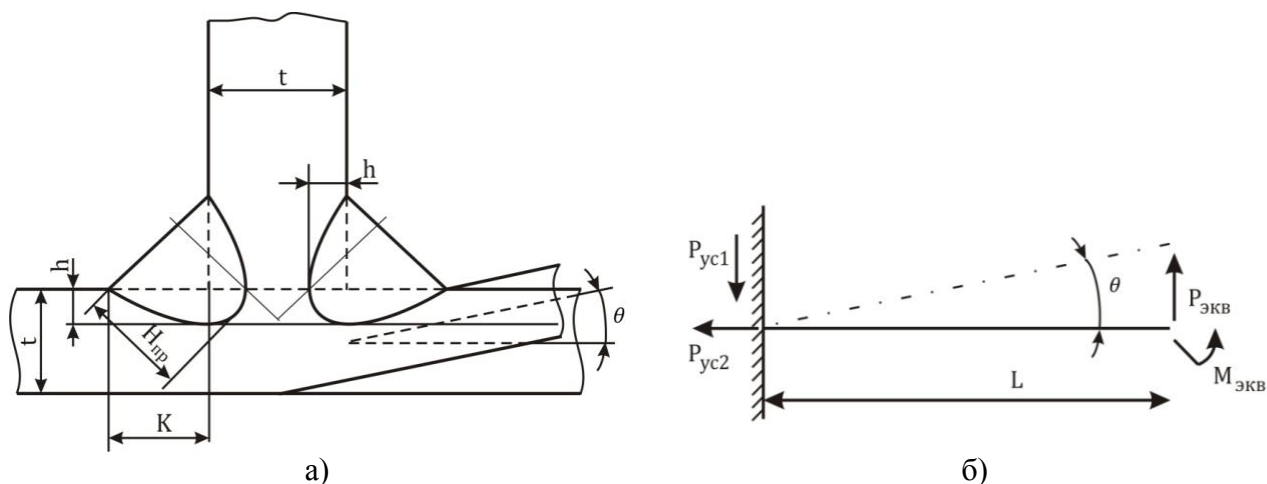
где  $K$  и  $t$  – соответственно катет углового шва и толщина листов таврового соединения.

При анализе остаточных сварочных напряжений  $\sigma_{ост}$ , возникающих в результате усадки наплавленного металла углового шва и вызывающих деформации полки тавровых соединений, исходили из следующих предположений и допущений:

1. С учетом специфики нагруженности равнокатетных угловых швов тавровых соединений, выполненных однопроходной дуговой сваркой с проплавлением вертикальной стенки и горизонтальной полки  $h_1$  и  $h_2$  ( $h_1 = h_2 = h$  в силу симметрии геометрической формы шва), величина усадочных сил  $P_{yc1}$  (поперечной) и  $P_{yc2}$  (продольной) в зоне действия остаточных напряжений  $\sigma_{ост}$  может быть определена из следующего соотношения

$$P_{yc1} = P_{yc2} = \sigma_{ост} F, \quad (2)$$

где  $F = (K+h) l$  – площадь поперечного сечения действия усадочных сил  $P_{yc1}$  и  $P_{yc2}$  ( $K$  и  $l$  – соответственно катет и длина углового шва,  $h$  – глубина проплавления полки и стенки) (рис. 1,а).



**Рис. 1. Угловая деформация сварных тавровых соединений (а) и принятая расчетная схема для определения угла поворота  $\theta$  полки (б)**

2. В качестве расчетной модели принимаем, что деформация полки таврового соединения, возникающая в процессе действия поперечной и продольной усадочных сил  $P_{yc1}$

и  $P_{yc2}$ , проявляющаяся в виде изгиба полки на угол  $\theta$ , эквивалентна случаю деформации полки под действием поперечной эквивалентной силы  $P_{экр} = P_{yc1}$  и эквивалентного момента от продольной силы  $M_{экр} = P_{yc2}t/2$  (т.е. соответствует изгибу консольной балки, нагруженной поперечным усилием  $P_{экр}$  и моментом  $M_{экр}$ ). При этом величина угла поворота полки таврового соединения  $\theta$  может быть определена из следующего соотношения

$$\theta = \frac{P_{yc1}L^2}{2EJ} + \frac{P_{yc2}tL}{2EJ}, \quad (3)$$

где  $L = 0,5(b-t)$  длина консольной балки (плечо силы  $P_{экр}$ ) (рисунок 1,б),  $b$  – длина полки тавра,  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа – модуль упругости,  $J = bt^3/12$  – момент инерции поперечного сечения консольной балки.

Используя приведенные соотношения (1)–(3) было получено выражение, позволяющее расчетным путем определить величину остаточных напряжений  $\sigma_{ост}$ , возникающих в процессе сварки тавровых соединений

$$\sigma_{ост} = \frac{E}{60} \frac{0,7}{\beta} \frac{(K/t - 0,1)}{K/t} \frac{(t/L)^2}{1 + t/L} \quad (4)$$

где  $\beta = H_{np}/K$  – параметр, определяющий глубину проплавления в направлении сварочной дуги;  $t/L$  – относительный параметр поперечного сечения тавра.

В соответствии с результатами, полученными в работе [2] для сварных соединений, выполненных угловыми швами за один проход с применением различных способов сварки, параметр  $\beta$  следует определять по соотношению (5)

$$\beta = 0,7 \left( 1 + \frac{h}{K} \right), \quad (5)$$

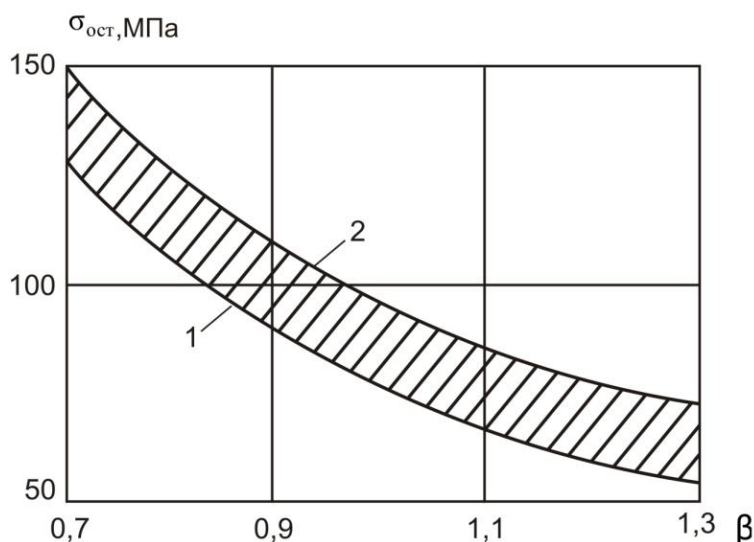
при наличии информации об относительной глубине проплавления стенки сварного соединения  $h/K$ .

При отсутствии информации об относительной глубине проплавления  $\beta = H_{np}/K$  следует принимать  $\beta$  в соответствии с рекомендациями работы [1], т.е.  $\beta = 0,7$  – для ручной дуговой сварки (РДС);  $\beta = 0,9$  – для механизированной дуговой сварки;  $\beta = 1,1$  – для автоматической дуговой сварки (АДС).

Как было показано ранее в работе [2], при выборе основного параметра равнокатетных угловых швов (катета  $K$ ), необходимо корректировать оптимальный диапазон размеров катета, принятый в [3] для ручной дуговой сварки:  $K/t = 0,5 \dots 1,0$ . учетом глубины проплавления вертикальной стенки  $h$ . Для данного случая, учитывая глубину проплавления вертикальной стенки  $h$ , имеем [2]

$$\frac{K}{t} = (0,5 \dots 1,0) f_{np}; \quad f_{np} = \frac{0,7}{\beta}. \quad (6)$$

На рис. 2 приведен диапазон расчетных значений  $\sigma_{ост}$ , подсчитанный по соотношению (4) с учетом оптимальных значений  $K/t$  для различных способов сварки тавровых соединений (т.е. при разных значениях параметра  $\beta(h/K)$ ). Как видно, переход от ручной дуговой сварки к механизированной и автоматической сварке приводит к существенному снижению уровня остаточных напряжений  $\sigma_{ост}$  (в 1,5...2 раза).



**Рис. 2. - Зависимость  $\sigma_{ост}$  от параметра  $\beta(h/K)$  для тавровых сварных соединений, выполненных из конструкционных сталей с равнокатетными швами ( $E = 2 \cdot 10^5$  МПа;  $t/L = 0,25$ ) (1- нижняя и 2- верхняя граница диапазона)**

Таким образом, на основании полученных результатов можно предложить рекомендации по корректировке нормативного метода расчета тавровых сварных соединений с равнокатетными швами и внесении изменений в нормативные документы, позволяющие на стадии конструктивно-технологического проектирования сварных соединений, выполненных за один проход, провести оптимизацию геометрических параметров угловых швов с точки зрения снижения уровня остаточных сварочных напряжений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев Г.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование. /Г.А. Николаев, В.А. Винокуров. - М.: Высшая школа.-1990.- 446с.
2. Ерофеев В.В., Уржумцева С.А., Шарафиев Р.Г. К вопросу о снижении объема наплавленного металла при изготовлении и ремонте металлоконструкций объектов АПК / В.В. Ерофеев, С.А. Уржумцева, Р.Г. Шарафиев //Материалы научно-практической конф.: Достижения науки – агропромышленному производству.- Челябинск, ЮУрГАУ ИАИ.-Ч.2, 2016. - С.
3. СНиП II -23-81. Часть 2. Нормы проектирования. Глава 23. Стальные конструкции. - М.: 1982.- С.37-39.



УДК 636.085.002.2

**РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ КОРМОВЫХ БРИКЕТОВ-ЛИЗУНЦОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ**  
**DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGY OF FODDER BRIQUETTE-LIZUNTS USING THE HEAT PUMP INSTALLATION**

**Лариса Игоревна Лыткина, Евгения Сергеевна Шенцова**  
**Larisa I. Lytkina, Evgenia S. Shentsova**

*Воронежский государственный университет инженерных технологий, Россия, Воронеж*  
*Voronezh State University of Engineering Technologies, Russia, Voronezh*  
*(e-mail: larissaig2410@rambler.ru, evgeniya-shencova@yandex.ru)*

*Аннотация:* Предложена технология кормовых брикетов-лизунцов, обеспечивающая высокую однородность смешивания компонентов, заданное содержание биологических активных веществ и более длительную сохранность продукции. Предусмотрено максимально быстрое охлаждение готовой продукции и снижение затрат на ее производство в результате использования теплоты отработанных теплоносителей за счет применения парокомпрессионного теплового насоса.

*Abstract:* The technology of fodder briquettes-lizunts is proposed, which ensures a high homogeneity of mixing of components, a given content of biological active substances and a longer product safety. The fastest cooling of the finished product and a reduction in the cost of its production as a result of the heat of spent coolants through the use of a steam compression heat pump are provided.

*Ключевые слова:* энергоэффективная технология, брикеты-лизунцы, теплонасосная установка, хранение.

*Keywords:* energy-efficient technology, briquettes-lizuntsy, heat pump plant, storage.

В настоящее время на отечественном рынке представлено большое разнообразие кормов для крупного рогатого скота. Однако даже самые совершенные из них не способны в полной мере восполнить недостаток различных микроэлементов, которые животные недополучают в процессе кормления. Для восполнения дефицита микроэлементов требуется создание функционального продукта, сочетающего в себе комплекс необходимых компонентов, отличающегося энергоэффективным способом производства и обеспечивающим более длительный срок хранения продукции [1]. Таким продуктом являются брикеты-лизунцы, в состав которых входит меласса свекловичная, соль кормовая, витамины, различные макро- и микроэлементы. Значительные возможности экономии ресурсов, повышения качества продукции и увеличения объемов ее производства создаются при реализации принципов энергосбережения с применением парокомпрессионной теплонасосной установки, работающее й по термодинамическому циклу, обратному тепловому двигателю [2, 3].

В настоящее время на фермах для коров, овец и коз изготавливаются брикеты-лизунцы на основе очищенной поваренной натриевой соли, соответствующей требованиям экологической безопасности, предъявляемым к кормовым средствам. Но, известные на сегодняшний день технологии производства лизунцов достаточно энергозатратны, не обеспечивают необходимую однородность продукта и сохранность биологически активных веществ, содержащихся в его составе.

Разработана энергоэффективная технология и оригинальная рецептура брикетов-лизунцов с вводом микроингредиентов и витаминов в стабилизированной форме [4]. Дополнительно, как связующее вещество, вводится кормовая свекловичная меласса, повышающая кормовую питательную ценность лизунцов, энергосодержание рациона, активизирующая полезную микрофлору в кишечнике животного, регулирующая белково-

углеводный обмен. Индивидуальный подбор витаминов, минеральных солей, аминокислот для каждого вида животных восполняет пробелы в кормлении, способствует профилактике заболеваний, связанных с витаминно-минеральной недостаточностью, стимулирует продуктивность жвачных животных.

Предлагаемый способ производства брикетов-лизунцов для подкормки крупного рогатого скота предусматривает использование двухступенчатой холодильной машины, являющейся источником тепла для подогрева кормовой свекловичной мелассы, и холода для максимально быстрого охлаждения готовой продукции (рисунок).

При смешивании компонентов кормовых брикетов имеет место экзотермическая реакция взаимодействия оксидов кальция и магния с водой, что приводит к разогреву многокомпонентной смеси, и, прежде всего, мелассы, и, как следствие, к снижению ее вязкости. Полученную смесь компонентов охлаждают кондиционированным воздухом, подготовленным в парокompрессионной теплонасосной установке (ПКТНУ). Технология позволяет повысить качество брикетов-лизунцов, получить однородную качественную продукцию с устойчивой структурой.

В ходе исследований проводили сравнительное изучение качества брикетов-лизунцов, выработанных по предлагаемой и применяемой технологии. Степень однородности распределения биологических активных веществ в брикетах, выработанных по предлагаемой технологии была выше, чем в контрольном, выработанном по существующей технологии. Благодаря максимально быстрому охлаждению брикетов была обеспечена высокая сохранность витаминов.

Изучены гигроскопические свойства кормовых брикетов. Установлено, что характер изменения равновесной влажности в исследуемой продукции существенно не отличался. Хранение брикетов-лизунцов в течение 12 месяцев не привело к их значительному разрушению.

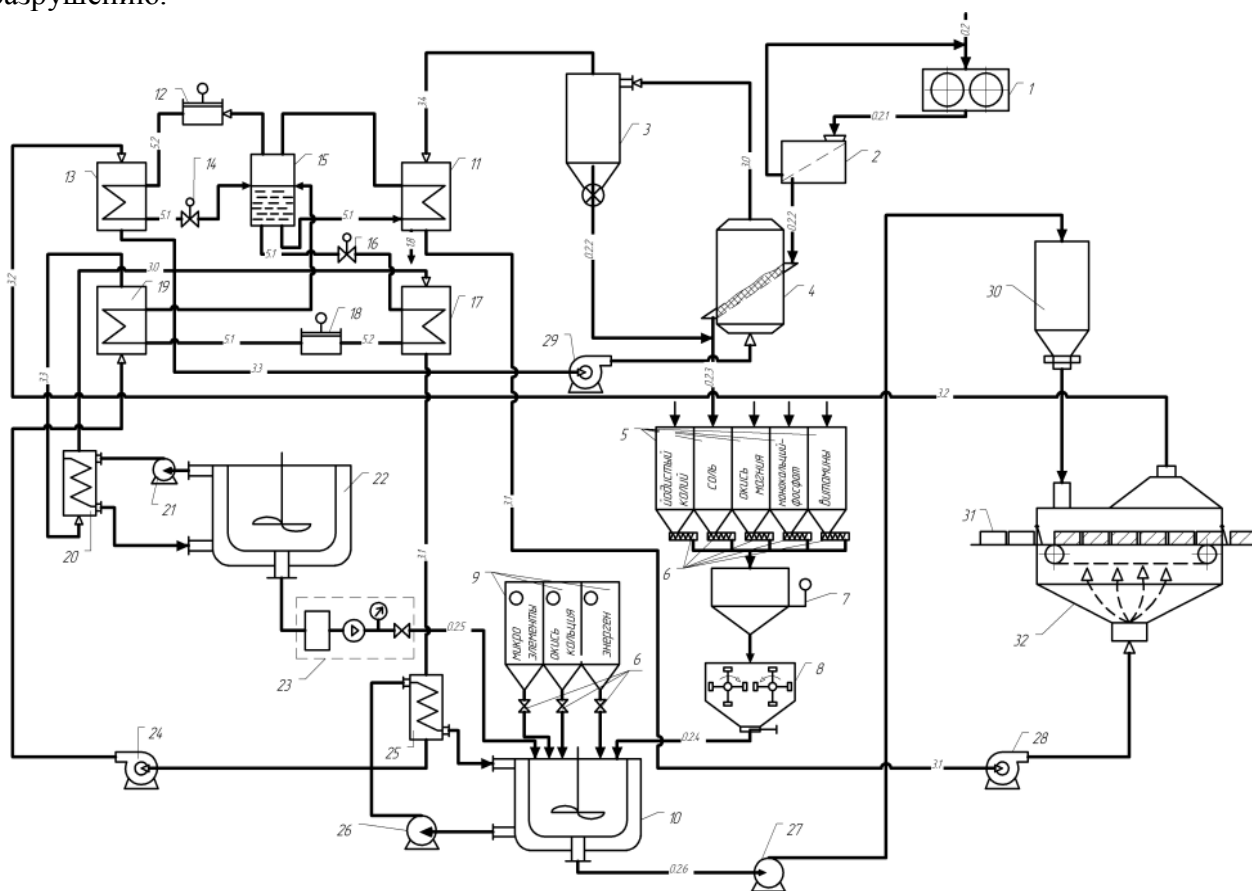


Рисунок 1. Технологическая линия получения брикетов-лизунцов.

1 – измельчитель; 2 – просеивающая машина; 3–фильтр-циклон; 4 – сушилка; 5 – бункера для сыпучих компонентов; 6 – питатели; 7 – дозатор; 8 – смеситель; 9 – бункера для жидких компонентов; 10 – реактор с теплообменной рубашкой; 11 – двухступенчатая холодильная машина; испаритель первой – 17 и второй – 11 ступени; компрессор первой – 18 и второй – 2 ступени; конденсатор первой – 19 и второй – 13 ступени; терморегулирующие вентили первой (ТРВ) – 16 и второй – 14 ступени; 15 – промежуточный сосуд; 20 – теплообменники для подогрева воды, 25 – теплообменники для охлаждения воды; 21, 26, 27 – насосы; 22 – подогреватель мелассы с теплообменной рубашкой; 23 – линия ввода мелассы; 24, 28, 29 – вентиляторы; 30 – дозатор-разгрузитель; 31 – формы для брикетов; 32 – камера формования и охлаждения.

Сочетанием экспериментальных и теоретических методов исследования разработана система автоматической оптимизации технологии кормовых брикетов-лизунцов с применением ПКТНУ. В процессе оптимального управления минимизации подвергались суммарные теплоэнергетические затраты, приходящиеся на единицу массы готового продукта, выбранные в качестве критерия оптимизации. При этом учитывались затраты электроэнергии в единицу времени на приводы вентилятора при охлаждении смеси компонентов кормовых брикетов в камере охлаждения кондиционированным воздухом, полученным в парокompрессионной теплонасосной установке; валкового измельчителя; просеивающей машины; норий, установленных в линиях рециркуляции; компрессора; затраты тепловой энергии на процесс формования и охлаждения кормовых брикетов [4].

Установлено, что оперативное изменение расхода компонентов кормовых брикетов в условиях реальных возмущений позволяет обеспечить экстремум выбранного критерия при ограничениях на показатели качества готовой продукции.

Использование данной технологии и оптимизация режимов работы оборудования позволяют снизить энергозатраты на тонну вырабатываемой продукции на 10...12 % в результате использования в линии двухступенчатой холодильной машины, являющейся источником тепла, используемого для подогрева мелассы и холода для максимально быстрого охлаждения брикетов, повысить доброкачественность готовой продукции и экологическую эффективность производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Стратегия инновационного развития кормопроизводства* [Текст] // В.М. Косолапов, И.А. Трофимов, Л.С. Трофимова, Е.П. Яковлева Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 1. – С. 16–18.
2. *Шенцова Е. С. Технология комбикормов* [Текст]: учеб. пособие / Е. С. Шенцова, А. А. Шевцов, Л. И. Лыткина // Воронеж. гос. технол. акад. Воронеж, 2004. - 204 с.
3. *Техника и технология тепловых и механических процессов в задачах энергосбережения на комбикормовых заводах* [Текст] : монография / Л. И. Лыткина, А.А. Шевцов, А.В. Дранников, А.И. Клейменов – Воронеж : ВГТА, 2011. – 304 с.
4. *Пат. № 2595177 РФ, МПК А23К 10/33(2016.01); Способ производства брикетов кормовых и линия для его осуществления* [Текст] / Шевцов А.А., Дранников А.В., Апалихина О.А; Шенцова Е.С., заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. универ. инженерных технол. – № 2015100166/13; заявл. 13.01.2015; опубл. 20.08.2016, Бюл. № 23.

УДК 621.798.426-52

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УПРАВЛЯЕМЫХ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

**WAYS OF IMPROVING EFFICIENCY OF OPERATION OF CONTROLLED  
ELECTROTECHNICAL COMPLEXES OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT**

**Анатолий Евгеньевич Поляков, Максим Сергеевич Иванов**  
**Anatoly E. Polyakov, Maxim S. Ivanov**

*Российский государственный университет им. А.Н Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва*  
*The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow*  
*(e-mail: polyakov.ac.@eist.ru, zaplatka84@mail.ru)*

*Аннотация:* Рассмотрены особенности применения регулируемых электроприводов при автоматизации нетканых материалов, приведены способы снижения потерь электроэнергии. Предложены конкретные решения по вопросам повышения эффективности эксплуатации управляемых электромеханических систем технологического и общефабричного оборудования. Приведено описание интеллектуальных систем управления и возможность их реализации при помощи математического и программного обеспечения.

*Abstract:* The peculiarities of the use of adjustable electric drives for the automation of nonwoven materials are considered, and methods for reducing power losses are presented. Specific solutions are proposed for improving the efficiency of operation of controlled electromechanical systems of technological and general equipment. The description of intelligent control systems and the possibility of their implementation with the help of mathematical and software are described.

*Ключевые слова:* энергосбережение, регулируемый электропривод, скоростной режим, транспортирование, наматывание, интеллектуальные системы, нечеткое управление.

*Keywords:* Energy saving, adjustable electric drive, speed mode, transportation, winding, intelligent systems, fuzzy control.

Важным резервом энергосбережения является оптимальное управление динамическими объектами по минимуму затрат энергии в условиях реальной эксплуатации, т.е. когда меняются параметры объектов, режимы работы, ограничения, задание на конечное состояние. Применение регулируемого электропривода обеспечивает энергосбережение и позволяет получать новые качества систем и объектов. Значительная экономия электроэнергии обеспечивается за счет регулирования технологических параметров (натяжения, вытяжки, линейной плотности). Автоматизация производства нетканых материалов выдвинула ряд проблем, связанных с улучшением качества управления электромеханическими системами технологического оборудования, основным видом регулируемого электропривода которого служат комплектные системы постоянного и переменного тока. Высокие требования технологического регламента к процессу формирования, транспортирования и наматывания волокнистого материала тесно связаны со скоростными режимами и точностью их реализации, обеспечивающими синхронизацию движений рабочих органов машин и аппаратов при оптимальных энерготехнологических показателях и заданных ограничениях. Автоматизация электромеханических систем технологического оборудования для производства химических волокон и нитей требует расширения и усложнения функций управления в связи с необходимостью осуществлять обмен информацией с устройствами управления различных уровней, обеспечивать непрерывный контроль состояния, а также надежную защиту от нарушений нормального режима.

Имеется большое количество технологического и общезаводского оборудования, в котором требуется создать определенный оптимальный скоростной режим при осуществлении технологических процессов. В одних случаях необходимо поддержание или синхронизация скоростей вращения узлов и механизмов, в других - изменение частоты вращения по заданному закону или регулирование ее в широких пределах.

В отрасли преимущественное применение находят нерегулируемые асинхронные короткозамкнутые двигатели как наиболее простые по конструкции, экономичные и надежные в работе.

Снижение потерь электроэнергии как в самих асинхронных двигателях (АД), так и в питающих сетях можно достичь путем: оптимального проектирования и улучшения технологии при изготовлении АД; применения комплектных электронных и микропроцессорных устройств для управления АД; рационального выбора электропривода для конкретной электромеханической системы.

Первые два способа снижения потерь электроэнергии требуют исследований и конструкторских разработок. Появление и развитие третьего способа обусловлено тем, что эксплуатационные режимы асинхронных приводов характеризуются отклонением реальной нагрузки АД от нагрузки, на которую рассчитан двигатель и которой соответствуют оптимальные значения его энергетических показателей. Существование таких режимов определяется выбором завышенного по мощности двигателя, а также переменным по времени характером нагрузки АД. Использование завышенного по мощности АД для привода объясняется, с одной стороны, несовершенством методик выбора двигателей, с другой - запасом по надежности с учетом тяжелых динамических режимов работы электромеханических систем технологического оборудования. Переменный во времени характер нагрузки диктуется особенностями технологического цикла машин, аппаратов и механизмов, использующих АД. Указанные эксплуатационные режимы асинхронного привода характеризуются низкими значениями его энергетических показателей - коэффициента мощности ( $\cos\phi$ ) и коэффициента полезного действия (КПД).

При примерно одинаковой установленной мощности двигателей потребление электроэнергии в США вдвое меньше, чем в РФ, что объясняется весьма низким коэффициентом использования оборудования. Так, для АД мощностью 0,75-100 кВт средняя годовая наработка составляет в России - 1044 ч, в США - 2020 ч. Кроме того, в России в настоящее время наблюдается тенденция к снижению коэффициента использования оборудования. При доведении уровня годовой наработки электродвигателей в России до ее уровня в США потребность в АД должна снизиться в 1,5-2 раза.

Снижение энергозатрат при эксплуатации технологического оборудования достигается выбором рациональных (в отдельных случаях оптимальных) скоростных режимов его электромеханических систем, определяемых энергетическими показателями и требованиями к технологическим процессам.

Основной задачей энергохозяйств по производству нетканых материалов является обеспечение надежной и бесперебойной работы технологического оборудования. Последнее может быть достигнуто как за счет реализации малозатратных технических решений, так и за счет частичной модернизации энерготехнологического оборудования.

Исследования авторов по вопросам повышения эффективности эксплуатации управляемых электромеханических систем технологического и общезаводского оборудования проводилось по следующим основным направлениям [1].

Первым направлением является разработка и внедрение на технологическом и вспомогательном оборудовании специальных технических средств, обеспечивающих в нерегулируемом электроприводе минимизацию влияния отклонения нагрузки и качественных показателей электроэнергии от номинальных значений на энергетические показатели. Авторами предложена методика внедрения микропроцессорных регуляторов напряжения типа МРН 000 для низковольтных АД, которые кроме выполнения функций энергосбережения управляют режимами пуска и торможения, в отдельных случаях регулируют

частоту и момент вращения, а также осуществляют защиту и диагностику, т.е. повышают технический уровень привода в целом, увеличивают его надежность. С учетом многофункциональности применения МРН 000 такое решение оказывается экономически целесообразным для электромеханических систем с переменной нагрузкой даже при относительно высокой цене энергосберегающего устройства.

Вторым направлением энергосбережения является переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому для отдельных видов технологического оборудования. Этот объективный процесс, обусловленный повышением технического уровня технологического оборудования, в котором используется электропривод, часто дает возможность рационального и оптимального решения задач управления скоростными режимами.

Как правило, при переходе к регулируемому электроприводу экономия энергии достигается как за счет применения самого привода, так и за счет улучшения технологического процесса, который привод обслуживает.

Повышение производительности оборудования путем увеличения рабочих скоростей и мощности передаваемых потоков материала, улучшение качества изделий - все это требует повышения точности управления электромеханическими системами.

Компьютерные технологии в настоящее время располагают методами и средствами, составляющими резерв повышения точности управления процессом транспортирования и наматывания волокнистого материала. За счет усложнения структуры САР при компенсации возмущений может быть не только повышена точность управления, но и снижена сложность цепей обратных связей.

Формирование, транспортирование и наматывание волокнистых материалов представляет собой один из сложнейших технологических процессов как из-за разнообразия состава волокон, так из-за сильного влияния программы и точности управления натяжением на прочность волокнистого продукта.

Важнейшим является вопрос о закономерностях управления процессом формирования, транспортирования и наматывания волокнистого продукта с целью получения тел наматывания с заданными свойствами [2].

В настоящее время отсутствуют управляющие устройства способные решать в реальном времени задачи синтеза оптимального энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования.

По существу такие управляющие устройства должны представлять собой интеллектуальные системы, обладающие возможностями на основе вводимых исходных данных оперативно определять вид функции оптимального управления, рассчитывать её параметры, выбирать наилучшую стратегию управления.

Перспективным направлением является разработка интеллектуальных систем и, в первую очередь, создание для них математического и программного обеспечения, что возможно лишь на базе современных информационных технологий, позволяющих в полном объеме использовать базу знаний экспертной системы. В последние годы наиболее перспективным направлением признаны технологии искусственного интеллекта в системах управления электроприводами, где находят применение так называемые нечеткие алгоритмы регулирования. Нечеткое управление (на основе методов теории нечетких множеств) используется при недостаточном знании объекта управления, отсутствии опыта управления им, в нелинейных системах, идентификация которых слишком трудоемка, а также в случаях, когда по условию задачи необходимо использовать знания эксперта. Регуляторы, построенные на базе этой инновационной концепции, в ряде случаев способны обеспечить наиболее высокие показатели качества переходных процессов по сравнению с классическими регуляторами. Кроме того, используя технологию синтеза нечетких алгоритмов управления, возможно провести оптимизацию сложных контуров регулирования без проведения всесторонних математических исследований. Широкому распространению fuzzy-систем управления способствует программная система Matlab, в составе которой имеется

пакет программ по fuzzy-логике. Fuzzy Logic Toolbox позволяет создавать и редактировать fuzzy-системы управления с нечеткой логикой, называемые в терминах программной системы MatLab - Fuzzy Inference System или FIS. Эти системы можно создавать используя как графические инструменты так и команды рабочего окна MatLab. Кроме того, указанная система включает в себя пакет моделирования динамических систем Simulink, который в свою очередь позволяет при помощи стандартных блоков, входящих в библиотеку, сформировать одноконтурную или многоконтурную систему управления с аналоговым или fuzzy-регулятором.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Поляков А.Е., Дубовицкий В.А., Филимонова Е.М. Повышение эффективности управления энергосберегающими режимами технологического оборудования: монография. - М.:ФГБОУ ВПО "МГУДТ", 2015. - 233 с.

2. Поляков А.Е., Филимонова Е.М. Энергосбережение за счет применения интеллектуальных систем управления электротехническими комплексами технологического оборудования: монография. - М.: ФГБОУ ВО "МГУДТ", 2016. - 186 с.

УДК 620.179.14

### РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЕФЕКТОСКОПИИ ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ ДЫМОВЫХ ТРУБ DEVELOPMENT OF ENERGY-SAVING TECHNOLOGY OF DEFECTOSCOPY OF FUNCTIONING SMOKE PIPES

**Владимир Андреевич Акатьев\*, Любовь Валерьевна Волкова \*\***  
**Vladimir A. Akatjev \*, Lubov V. Volkova\*\***

*\*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, Россия, Москва*

*\*Bauman Moscow State Technical University, Russia, Moscow*

*\*\* Российский государственный социальный университет, Россия, Москва*

*Russian State Social University, Russia, Moscow*

*(e-mail: akatiev07@mail.ru)*

*Аннотация:* Рассмотрена оптическая дефектоскопия функционирующей дымовой трубы с использованием автономного аппарата. Для энергосбережения предложено дополнительно стабилизировать оптические оси приборов контроля, что позволяет на 80% снизить расход электроэнергии на контроль дымовой трубы.

*Abstract:* Optical flaw detection of a functioning chimney with an autonomous device is considered. For energy saving, it is proposed to additionally stabilize the optical axes of the monitoring instruments, which makes it possible to reduce by 80% the consumption of electricity for monitoring the chimney.

*Ключевые слова:* дефект, дымовая труба, послойный оптический контроль, внутренняя поверхность трубы, энергосбережение, автономный аппарат.

*Keywords:* defect, chimney, layer-by-layer optical control, internal surface of a pipe, Energy saving, independent device.

На опасных производственных объектах в настоящее время эксплуатируется более 2500 железобетонных дымовых труб, построенных в 1950-1970 годах [1, 2, 4]. Дымовые трубы выработали свой проектный ресурс (50 лет) и вследствие износа их эксплуатация связана с повышенной аварийностью. В соответствии с требованиями промышленной безопасности дымовые трубы периодически (не реже 1 раза в 5 лет) подвергаются экспертизе промышленной безопасности с диагностическим обследованием [10, 11, 12]. Диагностическое обследование включает в себя различные методы, в числе которых методы неразрушающего контроля (НК): контроль температурного поля на внешней поверхности;

фотографирование внутренней поверхности с использованием автономного аппарата (АА); измерение амплитудно-частотных характеристик трубы [3, 5, 6-9].

Метод фотографирования с использованием АА применяется с 2000 года [4]. При этом АА, оборудованный излучателями и фотокамерами, на тросовом подвесе с постоянной линейной скоростью опускается при помощи крана в функционирующую дымовую трубу. Фотокамеры АА с заданной периодичностью осуществляют съемку футеровки, обеспечивая послойную ее дефектоскопию в виде полос высотой по 1,5-2,0 м в непрерывном цикле [10].

Недостатком данного метода являются расходы энергетических ресурсов на дублирование контроля участков поверхности трубы (из-за наклонов оптических лучей приборов контроля при движении АА в трубе), а также на разогрев излучателей в циклическом режиме работы [11, 12].

В настоящей работе решена актуальная проблема энергосбережения - исключением наложения полос контроля за счет стабилизации оптических осей приборов контроля энергетическая эффективность дефектоскопии повышена на порядок.

*Причины возникновения дефектов в железобетонных дымовых трубах.* Дымовые трубы работают в сложных условиях внешних (природных) и внутренних (эксплуатационных) воздействий, испытывают значительные статические и динамические нагрузки, при этом большинство труб к настоящему моменту выработали свой проектный ресурс (50 лет). Все это приводит к изменению их геометрических форм, нарушению целостности, существенно увеличивает их аварийность.

Некоторые дефекты возникают в определенном месте дымовой трубы. Например, надлом трубы происходит в зоне, отстоящей примерно на одну треть высоты от верха трубы, из-за критического повреждения футеровки и бетона ствола с последующим самопроизвольным или искусственным обрушением. В 1991 г. произошел надлом верхней 30-метровой части железобетонной дымовой трубы высотой 150 м на Уфимском нефтеперерабатывающем заводе. В 2015 г. самопроизвольно обрушилась надломленная верхняя 30-метровая часть дымовой трубы высотой 100 м на Богословской ТЭЦ г. Краснотурьинска. Указанные случаи объясняются закономерностями появления и развития дефектов в трубе и, в первую очередь, дефектов в футеровке, защищающей бетонный ствол трубы от воздействия высокой температуры (150...300 °С) и кислых газов ( $\text{CO}_2$ ;  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ ).

Дефекты в футеровке, возникающие в процессе эксплуатации дымовой трубы, создают условия для протекания газов к внутренней поверхности несущего бетонного ствола и воздействия на него, что приводит: 1) к повышению температуры бетона и появлению трещин; 2) карбонизации кальция в бетоне, коррозии арматуры и отслаиванию бетона; 3) сульфатации кальция в бетоне, локальному увеличению плотности материала ствола и нарушению симметрии (равновесия) масс относительно оси трубы.

При сжигании топлива с высоким содержанием серы в уходящих газах содержатся оксиды серы ( $\text{SO}_x = \text{SO}_2 + \text{SO}_3$ ), которые при пониженных температурах (ниже точки росы) конденсируются на поверхности футеровки. Конденсации водяных паров и оксидов серы способствуют определенные условия работы котлов и дымовых труб, при которых снижаются температуры уходящих газов и стенок футеровки. Суммарное количество образовавшихся оксидов серы принято определять в пересчете на диоксид серы  $\text{SO}_2$ . При температуре ниже 600 °С диоксид углерода реагирует с водяным паром, образуя серную кислоту. Пары серной кислоты конденсируются на поверхности футеровки при пониженных нагрузках. Температура конденсации серного ангидрида ( $\text{SO}_3$ ) равна 120-125 °С. Конденсация водяных паров  $\text{H}_2\text{O}$  из уходящих газов может происходить при температуре 50-60 °С. Интенсивность осаждения серной кислоты и водяного пара на поверхности ствола трубы определяется режимом эксплуатации и процессами массопереноса в капиллярно-пористых телах.

При взаимодействии гидрата окиси кальция с оксидом серы при температурах уходящих газов образуется в основном полуводный гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ).



По данным различных исследований [10] при фильтрации через бетон влаги при отсутствии в ней солей растворяется  $1,5 \text{ г/л Ca(OH)}_2$ , то есть происходит выщелачивание гидрата окиси кальция. Это вызывает разложение гидратных минералов цементного камня. При выщелачивании из бетона 20-30 % гидрата окиси кальция его прочность снижается на 40-60 %. О процессах выщелачивания свидетельствуют белые пятна и налеты на внешней поверхности бетонного ствола.

Температура уходящих газов пропорциональна корню кубическому от тепловой нагрузки котла. Если при номинальной нагрузке котла температура уходящих газов равна  $135 \text{ }^\circ\text{C}$ , то при снижении нагрузки котла до 50 % она упадет до  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ , что ниже точки росы выпадения серного ангидрида.

Температура уходящих газов котла пропорциональна корню кубическому от его тепловой нагрузки. При номинальной нагрузке котла температура уходящих газов равна  $135 \text{ }^\circ\text{C}$ , а при снижении нагрузки котла до 50 % она снижается до  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ , что ниже точки росы.

Кроме того, конденсация паров серного ангидрида на поверхности футеровки возможна при разрежении в дымовой трубе, что возможно при низких скоростях уходящих газов. Расчеты и натурные измерения давления в дымовой трубе показали, что при разных скоростях могут образовываться зоны давлений и разрежений на разных высотах трубы.

Как известно, давление уходящих газов в дымовой трубе складывается из давления, создаваемого дымососом в котлах под разрежением (уравновешенной тяги), естественной тяги и аэродинамического сопротивления дымовой трубы. Давление газов по высоте дымовой трубы можно определить как теоретическими расчетами, так и с помощью экспериментальных измерений.

Естественная тяга (самотяга) создается за счет разности статических давлений столба атмосферного воздуха и столба разогретых уходящих газов в дымовой трубе.

$$\Delta p_{\text{сам}} = h(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{ух}})g,$$

где  $h$  – высота дымовой трубы, м;  $\rho_{\text{в}}$  и  $\rho_{\text{ух}}$  – соответственно плотности воздуха и уходящих газов,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

Так, при высоте дымовой трубы  $h = 100 \text{ м}$  самотяга  $\Delta p_{\text{сам}} = 0,4 \text{ кПа}$ .

Котлы работают, в основном, на уравновешенной тяге. В этом случае подача воздуха в топку котла осуществляется дутьевым вентилятором, а удаление газов – дымососом. Весь газовый тракт находится под разрежением. Объем газов, поступающих в трубу, увеличивается за счет присосов (примерно на 30 %), а температура уходящих газов при разбавлении их присасываемым воздухом снижается на 20-25 %.

Потери напора в дымовой трубе  $\Delta p_{\text{дт}}$  равны аэродинамическому сопротивлению дымовой трубы  $\Delta p_{\text{дт}}$  за вычетом самотяги  $\Delta p_{\text{сам}}$  известным выражением

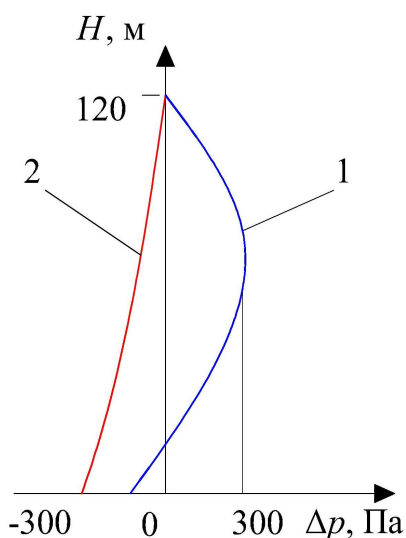
$$\Delta p_{\text{дт}} = (\lambda h/d + \Sigma \zeta) \rho w^2/2 - \Delta p_{\text{сам}},$$

где  $\rho w^2/2$  – скоростной напор, Па;  $\Sigma \zeta$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений;

$\lambda$  – линейный коэффициент трения;  $h, d$  – соответственно высота (на которой определяется давление) и диаметр дымовой трубы, м.

При высокой скорости дымовых газов (выше определенного предела -  $20 \text{ м/с}$ ) в дымовых трубах возникает избыточное давление газовой среды, достигающее  $200\text{-}300 \text{ Па}$ , при наличии разрежения в нижней части трубы, а при пониженной скорости уходящих газов ( $10\text{-}12 \text{ м/с}$ ) - разрежение по всей высоте трубы (рис. 1) [13].

Под влиянием избыточного давления в дымовых трубах происходит перемещение среды от внутренней поверхности футеровки к наружной поверхности железобетонного ствола, что увеличивает скорость разрушения футеровки и вызывает коррозию бетона и арматуры. Одновременно, это вызывает периодическое замораживание и оттаивание влаги в бетоне несущего ствола, в результате чего в ряде случаев уже через 5-6 лет требуется ремонт труб. Наиболее интенсивно разрушительные процессы происходят в верхней части на



**Рис. 1 - Статическое давление газовой среды по высоте дымовой трубы в зависимости от скорости уходящих газов:**  
 1 – скорость газов 20-25 м/с;  
 2 – скорость газов 10-12 м/с

расстоянии трети-четверти высоты от устья трубы. В ряде случаев указанные разрушения настолько ослабляли сечение несущего ствола, что в данном месте под действием знакопеременных ветровых нагрузок образовывался надлом железобетонного ствола.

В то же время при низких скоростях движения уходящих газов в дымовых трубах по всей высоте удерживается разрежение. Под влиянием разрежения в дымовых трубах происходит перемещение среды от внешней поверхности железобетонного ствола к внутренней поверхности футеровки, что охлаждает газы и способствует выпадению газов в виде росы на футеровке, что увеличивает скорость ее разрушения.

В результате длительного высокотемпературного воздействия уходящих газов, насыщенных окислами серы и углерода, изменяются эксплуатационные свойства футеровки дымовой трубы, что приводит к нарушению герметичности и проницаемости футеровки, прониканию газов к внутренней поверхности бетонного ствола и недопустимому увеличению скорости карбонизации и сульфатации несущего ствола.

Трещины в футеровке приводят к ее набуханию и увеличению температурных напряжений в ней. В зависимости от продолжительности эксплуатации дымовой трубы, режима работы и вида сжигаемого топлива коррозия цементного раствора и футеровки с внутренней поверхности может достигать 1,5...10 мм/год. В результате могут образовываться трещины шириной раскрытия до 40 мм.

Скорость роста ширины раскрытия трещин в футеровке равна 0,5-0,6 мм/год. Ширина раскрытия трещин за период срока эксплуатации (проектного ресурса) увеличивается почти в 2 раза – от 15 до 30 мм.

Процессы коррозии футеровки и раствора протекают быстро при температуре газов ниже температуры точки росы серного ангидрида, так называемом «мокроем» режиме эксплуатации дымовой трубы. Особенно тяжелыми с точки зрения коррозии футеровки и бетона являются смены режимов нагрузки оборудования, подключенного к трубе, в результате чего скорость уходящих газов или велика (20 м/с) или мала (10 м/с). Примерно 70-80 % критических дефектов возникает по причине коррозионных дефектов, связанных с намоканием футеровки с внутренней (внешней) стороны при избыточных давлениях (разрежениях) в дымовой трубе (при скоростях газов выше 20 или ниже 10 м/с соответственно). Дефекты могут возникать вследствие хлопков давления в трубе (до 5 кПа) при резких изменениях в работе тягодутьевых машин и нагрузки котлов (печей). Скорости образования дефектов в футеровке представлены в табл. 1.

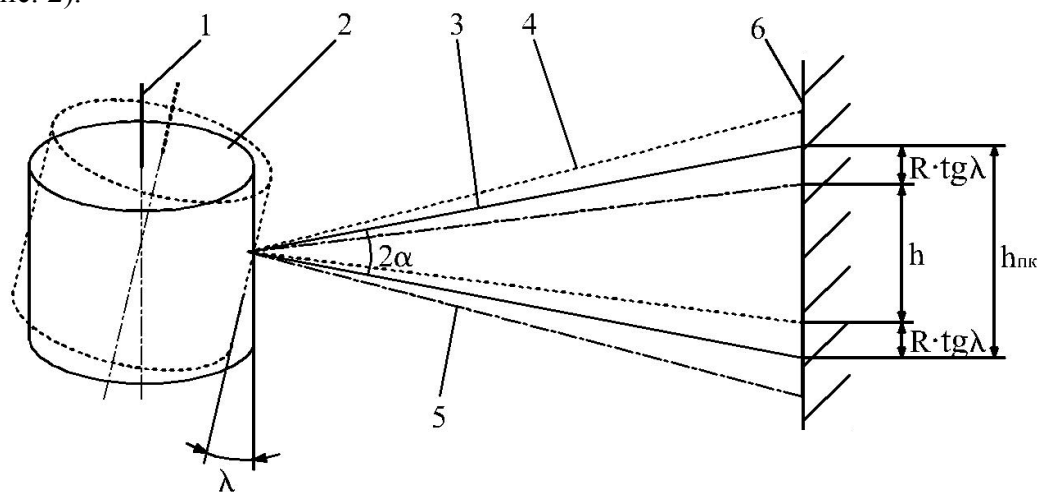
**Таблица 1. Скорость образования дефектов в футеровке**

Наименование дефекта	Скорость роста
Рост линейного размера футеровки, %	0,5
Коррозия футеровки, мм/год	1,5–10,0
Коррозия цементного раствора кладки, мм/год	6,0–10,0
Рост ширины трещины в футеровке, мм/год	0,5

Таким образом, условия эксплуатации дымовых труб приводят к образованию дефектов в футеровке и бетонном стволе. Указанные дефекты выявляются при периодических диагностических обследованиях дымовых труб с помощью автономного

аппарата. Следует отметить, что традиционная технология контроля имеет недостаток, заключающийся в отсутствии в ней технических решений в области энергосбережения.

На расход энергоресурсов на подсветку внутренней поверхности трубы наибольшее влияние оказывает предельный угол наклона оптической оси приборов контроля. Для оценки указанного влияния необходимо рассмотреть схему внутритрубного контроля дымовой трубы (рис. 2).



**Рис. 2. Оценка размера дублирования при контроле поверхности:**

1 — трос; 2 — автономный аппарат; 3 — кольцевой луч подсветки; 4, 5 — кольцевой луч подсветки при наклонах; 6 — внутренняя поверхность трубы;  $\lambda$  — угол наклона;  $h$  — цикловой шаг;  $R \cdot \operatorname{tg} \lambda$  — высота участка, выпадающая из контроля;  $h_{\text{нк}}$  — высота полосы контроля в вертикальном положении автономного аппарата;  $2\alpha$  — угол обзора

Следует оценить величину наложения полос фотографирования для дымовой трубы высотой 250 м и диаметром 16 м. Коэффициент наложения (дублирования) равен

$$k_n = \frac{h_{\text{нк}} - h}{h} = \frac{2R \operatorname{tg} \lambda}{h}. \quad (1)$$

В традиционном методе с применением автономного аппарата угол наклона автономного аппарата удерживается системой аэродинамической стабилизации в пределах  $5^\circ$ . Принимая диаметр трубы равным  $2R=16$  м, а цикловой шаг по высоте  $h=1,5$  м, получим величину коэффициента наложения  $k_n=0,8$ . Следовательно, в традиционном методе контроля 80 % энергетических ресурсов расходуются на повторный контроль поверхности трубы. Для дымовой трубы высотой 250 м диаметром 16 м расход электроэнергии на повторный контроль составит ориентировочно 300 кДж.

Стабилизировать оптические оси приборов контроля предлагается с помощью гироскопической системы, которая позволит исключить повторный контроль части кольцевых полос контроля.

Авторами разработано решение по гироскопической стабилизации всего автономного аппарата [5, 11]. Это позволяет стабилизировать вертикальное положение автономного аппарата, практически исключить наклоны его оси, уменьшить ширину полосы подсветки внутренней поверхности трубы до ширины полосы фотографирования. В конечном итоге рассматриваемое решение позволит достичь эффективного расходования электрической энергии на подсветку поверхности контроля дымовой трубы, а также увеличить разрешающую способность контроля.

#### **Выводы**

Применение разработанной технологии контроля позволяет достичь эффективного расходования электрической энергии на подсветку поверхности контроля дымовой трубы.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Дужих Ф.П., Осоловский В.П., Ладыгичев М.Г.* Промышленные дымовые и вентиляционные трубы / Под ред. Ф.П. Дужих. М.: Теплотехник, 2004. 464 с.
2. *Акатьев В.А., Суцев С.П.* Технология и параметры автономного аппарата для контроля футеровки функционирующей дымовой трубы // Безопасность жизнедеятельности. 2005. № 3. С. 32–44.
3. *Акатьев В.А., Тимашова Л.Н., Колючкин В.Я., Рязанов В.Н., Нигметов Г.М., Шахраманьян М.А., Ларионов В.И., Суслонов А.А., Суцев С.П.* Способ контроля внутренней поверхности дымовой трубы и устройство для его осуществления / Патент на изобретение РФ 2152065, заявл. 27.04.1998, опубл. 27.06.2000.
4. *Акатьев В.А.* Мониторинг технического состояния функционирующего оборудования в управлении риском. М.: Изд-во РГСУ, 2009. 232 с.
5. *Акатьев В.А., Александров А.А., Волкова Л.В., Суцев С.П.* Способ контроля внутренней поверхности дымовой трубы и устройство для его осуществления. Патент на изобретение РФ 2545062, заявл. 26.08.2013, опубл. 2015.
6. *Беляков В.Н., Калугин В.Т., Суцев С.П., Суслонов А.А., Ларионов В.И., Акатьев В.А.* Диагностический комплекс «Сканлайнер» для обследования футеровки дымовых труб без остановки технологических процессов // Конверсия в машиностроении. 2002. № 1. С. 60–66.
7. *Акатьев В.А., Суцев С.П.* Об оценке эксплуатационной безопасности дымовых труб с помощью мобильного аппарата // Вестник РУДН. Сер. Проблемы комплексной безопасности. 2005. № 1. С. 77–91.
8. *Акатьев В.А., Сажин Б.С., Суцев С.П., Ларионов В.И.* Разработка средств для оценки срока безопасной эксплуатации дымовых труб // Промышленная энергетика. 2006. № 6. С. 18–23.
9. *Акатьев В.А., Сажин Б.С., Суцев С.П., Ларионов В.И.* Применение диагностических комплексов для оценки устойчивости и износа дымовых труб // Электрические станции. 2006. № 11. С. 24–29.
10. *Александров А.А., Акатьев В.А., Ларионов В.И., Суцев С.П., Волкова Л.В.* Повышение эффективности контроля дымовых труб с помощью автономного аппарата // Вестник МГТУ имени Н.Э.Баумана. Серия: Машиностроение. 2017. № 1 (112). С.24-40.
11. *Александров А.А., Суцев С.П., Акатьев В.А., Ларионов В.И., Метелкин Е.В.* Внутритрубная дефектоскопия функционирующей промышленной дымовой трубы // Вестник МГТУ имени Н.Э.Баумана. Серия: Машиностроение. 2016. № 6 (111). С.128-135.
12. *Волкова Л.В., Акатьев В.А., Александров А.А., Ларионов В.И., Суцев С.П., Павлова А.Д.* Оценка энергозатрат для послойного внутреннего контроля функционирующей дымовой трубы с помощью автономного аппарата // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 4 (106). С.222-233.
13. *Рыжкин В.Я.* Тепловые электрические станции. – М.: Энергия, 1976. – 448 с.

УДК 621.798.426-52

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ  
РЕЖИМОВ СЛОЖНЫХ МНОГОМЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**  
**MAIN DIRECTIONS OF RESEARCH OF ENERGY SAVING MODES OF COMPLEX  
MULTIDIMENSIONAL DYNAMIC OBJECTS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT**

**Анатолий Евгеньевич Поляков, Максим Сергеевич Иванов**  
**Anatoly E. Polyakov, Maxim S. Ivanov**

*Российский государственный университет им. А.Н Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва*  
*The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow*  
*(e-mail: polyakov.ac.@eist.ru, zaplatka84@mail.ru)*

*Аннотация:* Рассмотрены основные направления исследований энергосберегающих режимов работы технологического оборудования, приведены типы возмущающих воздействий при проектировании систем автоматического регулирования. Излагаются основные принципы построения управляемых электромеханических систем с транспортирующими и мотальными механизмами. Использован подход к построению приближенных алгоритмов адаптивного управления (метод мажорирующих функций), для реализации которого подходят процессоры, ориентированные на параллельные вычисления. Использована методика моделирования адаптивных и параллельных систем управления на параллельных вычислительных структурах.

*Abstract:* The main directions of research of energy-saving modes of operation of technological equipment are considered, types of perturbing influences are presented when designing automatic control systems. The basic principles of construction of controlled electromechanical systems with transporting and winding mechanisms are outlined. An approach to the construction of approximate adaptive control algorithms (the method of majorizing functions) is used, for the implementation of which processors suitable for parallel computing are suitable. The technique of simulation of adaptive and parallel control systems on parallel computing structures is used.

*Ключевые слова:* нетканые материалы, скоростной режим, математическое моделирование, электромеханические системы, электродвигатель, метод мажорирующих функций.

*Keywords:* nonwoven materials, speed mode, mathematical modeling, electromechanical systems, electric motor, method of majorizing functions.

Технологическое оборудование текстильных производств и машины для производства синтетических волокон и нетканых материалов имеют ряд особенностей, влияющих на постановку и методы решения задач повышения эффективности энергоресурсосбережения и их реализации путем управления скоростными режимами. Вследствие этого важнейшей эксплуатационной характеристикой машин и механизмов управляемых электротехнических комплексов (УЭК) является соответствие между фактическими и конструктивно заданными законами движения рабочих органов [1].

В качестве управляемых показателей при этом выступают перемещения, линейные скорости и частоты вращения рабочих органов, ускорения отдельных элементов машин, а также показатели систем автоматического регулирования (САР), характеризующих статические и динамические свойства электромеханических систем (ЭМС).

Для их эффективного использования необходимо осуществлять кинематический и динамический анализ функционирования оборудования по технологическим и энергетическим параметрам.

Типичным, наиболее употребительным средством теоретического исследования являются математические модели машин и их узлов, описываемые системами дифференциальных уравнений. Несмотря на упрощения, применяемые при составлении математической модели реального объекта, системы дифференциальных уравнений отличаются большой сложностью, которая связана с необходимостью учета нелинейностей характеристик, переменности параметров и т.п. Решение таких уравнений представляет собой самостоятельную, но тесно связанную с проблемой анализа и расчета ресурсосберегающих режимов ЭМС задачу.

Содержание исследований ориентировано на сочетание в разработке научных методов расчета эффективности текстильных производств и ее повышения за счет управления скоростными режимами рабочих органов ЭМС и их оптимизации, теоретических и экспериментальных исследований.

Теоретическое исследование скоростных режимов требует математического моделирования динамики ЭМС на основе совместного решения систем дифференциальных уравнений, описывающих движение узлов и механизмов, электромеханические переходные процессы, динамику транспортирования, формирования и наматывания волокнистого материала. Один из подходов, используемых при изучении статических и динамических режимов работы ЭМС, заключается в применении методов численного решения систем дифференциальных и алгебраических уравнений, как по стандартным программам, так и по программам, разработанным авторами.

Повышение производительности оборудования путем увеличения рабочих скоростей и мощности передаваемых потоков материала, повышение качества изделий - все это требует увеличения точности управления электромеханическими системами, часто в условиях возрастающих возмущающих воздействий, как со стороны силовых механизмов, так и со стороны питающей электрической сети.

Компьютерные технологии в настоящее время располагают методами и средствами, составляющими резерв повышения точности управления процессом транспортирования и наматывания волокнистого материала. За счет усложнения структуры САР при компенсации возмущений может быть не только повышена точность управления, но и снижена сложность цепей обратных связей.

Формирование и наматывание волокнистых материалов представляют собой один из сложнейших технологических процессов, что обусловлено как разнообразием состава волокон и смеси, так и сильным влиянием программы и точности управления натяжением на прочность волокнистого продукта. Важнейшим является вопрос о закономерностях управления процессом формирования и наматывания волокнистого продукта с целью получения тел намотки с заданными свойствами. При разработке САР процессом транспортирования и наматывания волокнистого материала основная проблема заключается в обеспечении согласования линейных скоростей рабочих органов.

Нестационарность работы электроприводов как объектов управления процессом формирования и наматывания зависит от способов управления электродвигателями постоянного и переменного тока и от свойств механизмов в процессе эксплуатации. Изменение режимных показателей электроприводов происходит вследствие изменения параметров электрической сети, электромагнитных контуров в цепи «преобразователь-двигатель», передаточных коэффициентов преобразователей, потока возбуждения двигателей, моментов инерции механизмов, частот упругих механических колебаний, параметров гибких передач, взаимного изменения механических параметров в многосвязных системах многодвигательных ЭМС. Кроме того, могут наблюдаться значительные изменения по спектральному составу и интенсивности возмущающих и управляющих воздействий, что может приводить к существенному увеличению динамических ошибок системы и к необходимости коррекции параметров регулирования для минимизации этих ошибок.

При проектировании САР сложных ЭМС важно осуществить анализ и классификацию возмущающих воздействий на привод посторонних факторов, вызывающих отклонение

частоты вращения привода от заданной программы и тем самым нарушающих нормальное течение технологического процесса.

Возмущения условно разделены на статические и динамические. К статическим возмущениям относятся воздействия, возникающие при изменении момента сопротивления приемно-намоточного механизма (ПНМ) по мере наработки продукта, и колебания напряжения сети, которые оказывают влияние на базовый скоростной режим электропривода. К динамическим воздействиям относятся воздействия, вызывающие изменение параметров передаточной функции привода и, следовательно, влияющие на точность процесса наматывания волокнистого материала. К этим возмущениям следует отнести изменения момента инерции в процессе наматывания, а также изменения момента сопротивления при изменении установочной частоты вращения рабочих органов ПНМ. Если динамика привода описывается нелинейными дифференциальными уравнениями, то к динамическим возмущениям следует отнести изменение частоты вращения привода при изменении диаметра наматывания продукта, что приводит к изменению электромеханической постоянной времени.

Для управляемых ЭМС с ПНМ и транспортирующими механизмами (ТМ) характерны и значимы режимы пуска, торможения, регулирования частоты вращения в зависимости от диаметра наматывания, стабилизации скоростного режима в процессе наматывания, транспортирования волокнистого материала через силовые узлы и механизмы согласно скоростной диаграмме.

Для ПНМ управляемого комплекса производства синтетических волокон и нетканых материалов проведена функциональная оптимизация, при которой по законам управления процессом наматывания разработана структура САУ и определены ее численные значения. Выполнена структурная оптимизация, позволившая использовать минимальное число простейших и легко физически реализуемых элементов систем.

При проектировании и практической реализации использован модульный принцип, при котором конструируется система управления, удовлетворяющая заданным критериям качества и техническим условиям, из типовых модулей (блоков). Это включает в себя необходимость разработки способов коррекции системы, когда при известном математическом описании системы определяются структура и параметры дополнительных корректирующих устройств, обеспечивающих ее заданные качественные показатели в статических и динамических режимах.

Излагаются основные принципы построения управляемых электромеханических систем с транспортирующими и мотальными механизмами в свете современного состояния теории и методов математического описания систем управления.

Таким образом, необходим аналитический аппарат для разработки методики анализа и расчета управляемых комплексов технологического оборудования, способных формировать изделия с заданными технологическими свойствами. Практическое решение данной проблемы имеет важное значение для экономии и рационального использования материальных и энергетических ресурсов в текстильной отрасли и в производстве синтетических волокон.

Выбору скоростной диаграммы процесса транспортирования, формирования и наматывания волокнистого материала должно предшествовать технологическое исследование управляемого процесса с целью установления наиболее выгодного скоростного режима [2].

Известно значительное число различных глобально устойчивых алгоритмов адаптивного управления динамическими системами, большинство из которых может быть получено путем применения стандартных процедур метода скоростного градиента при надлежащем выборе целевого функционала и выражения для ошибки. Однако эти алгоритмы ориентированы на так называемую параметрическую неопределенность уравнений объекта, то есть на знание математического описания объекта с точностью до конечного числа постоянных параметров. При таком подходе все составляющие нелинейного описания

объекта должны быть скопированы в законе управления, а, следовательно, эти составляющие должны быть точно известны. На практике достаточно точную модель объекта построить сложно, а иногда и невозможно. Глобально устойчивые адаптивные алгоритмы рассчитаны на меньший уровень неопределенности, чем тот, который обычно имеет место в практических задачах. Поэтому в основу подхода к построению адаптивных систем управления, ориентированных на применение в реальных условиях, целесообразно положить иные принципы, исключающие точное копирование нелинейностей объекта и, следовательно, рассчитанные на больший уровень неопределенности.

В исследованиях использован подход к построению приближенных алгоритмов адаптивного управления, названный методом мажорирующих функций. В частности, для достаточно широкого класса нелинейных динамических объектов предложена процедура построения адаптивного управления, в которой используются лишь специально вводимые оценочные функции переменных состояния объекта и вектора управления, скорость роста которых при бесконечном возрастании аргумента не ниже, чем скорость роста соответствующих составляющих правых частей дифференциальных уравнений объекта.

Для реализации указанного выше закона управления в реальном времени (а также для проведения компьютерного моделирования) ввиду его сложности и необходимости взаимосвязанного управления несколькими сложными объектами наилучшим образом подходят процессоры, ориентированные на параллельные вычисления. При этом адаптивные алгоритмы управления взаимосвязанным многостепенным объектом естественным образом декомпозируются по степеням подвижности. Это же относится и к математическим моделям самого объекта, но при практической реализации параллельной модели в большинстве случаев требуется дополнительная балансировка загрузки процессоров ввиду различной сложности правых частей уравнений для каждого сочленения.

Авторами использована методика моделирования адаптивных и параллельных систем управления на параллельных вычислительных структурах. На ее основе отлажен комплекс параллельных программ, функционирующий на базе параллельных процессоров с распределенной памятью. Программный комплекс позволяет моделировать в реальном времени систему управления с различными, в том числе адаптивными и параллельными, алгоритмами управления. Проведенный комплекс исследований показал, что применение адаптивного управления на порядок повышает динамическую точность управления скоростными режимами сложных динамических объектов с крутильно-матальными механизмами. Результаты моделирования систем управления на параллельных вычислительных структурах позволяют сделать вывод о возможности реализации в реальном времени сложных и интенсивных в вычислении алгоритмов адаптивного управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Поляков А.Е., Филимонова Е.М. Управляемые электротехнические комплексы технологического оборудования: учебное пособие. – М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2016. 300 с.
2. Поляков А.Е., Филимонова Е.М. Энергосбережение за счет применения интеллектуальных систем управления электротехническими комплексами технологического оборудования: монография. – М.: ФГБОУ ВО «МГУДТ», 2016. 186 с.



УДК 658.511.3

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ПРОЕКТУ ЮНИДО «РАЗВИТИЕ  
РЫНОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЭНЕРГОЕМКИХ ОТРАСЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»  
ACTIVITIES AND RESULTS OF THE UNIDO PROJECT «MARKET  
TRANSFORMATION PROGRAMME ON ENERGY EFFICIENCY IN GHG-INTENSIVE  
INDUSTRIES IN RUSSIA»**

**Максим Сергеевич Елисеев  
Maxim S. Eliseev**

*Центр международного промышленного сотрудничества ЮНИДО в России, Москва  
The UNIDO Centre for international industrial cooperation in Russia, Moscow  
(e-mail: itpo.moscow@unido.org)*

*Аннотация:* Рассмотрен опыт международной организации ЮНИДО в системе энергоменеджмента.

*Abstract:* UNIDO experience in energy management system is presented.

*Ключевые слова:* энергоменеджмент, энергосбережение, промышленность.

*Keywords:* energy management, energy saving, industry.

ЮНИДО является специализированным учреждением Организации Объединённых Наций, уполномоченным содействовать устойчивому промышленному развитию. В частности, ЮНИДО стала инициатором разработки и принятия Международного стандарта ISO 50001:2011 - Система Энергоменеджмента (СЭнМ).

Методология ЮНИДО по внедрению систем энергоменеджмента ставит основной целью достижение реального снижения на предприятии уровня энергопотребления (электроэнергия, газ, тепло, вода и т.д.). Акцент делается в первую очередь на незатратные и низкзатратные способы энергосбережения.

Уже на протяжении нескольких лет ЮНИДО реализует в России проект по развитию рыночных механизмов повышения энергоэффективности российской промышленности. В частности, 40 малых средних и крупных предприятий из различных отраслей промышленности сотрудничали с ЮНИДО в рамках внедрения систем энергоменеджмента, что позволило им не только значительно снизить энергопотребление без дополнительных капиталовложений, но и получить различные неэнергетические выгоды, такие как улучшение организационной культуры, повышения мотивации сотрудников и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Отличительной особенностью подхода ЮНИДО является системный подход к энергоменеджменту, когда затрагиваются все аспекты производства: от необходимого уровня вовлеченности руководства и формирования культуры экономного энергопотребления у персонала предприятий до выявления всех значимых энергопотребителей и анализа их энергорезультативности.

К настоящему времени система энергоменеджмента по методологии ЮНИДО уже внедрена на сотнях предприятий по всему миру и демонстрирует высокую эффективность. Наиболее яркими примерами успешного внедрения СЭнМ в мире являются концерны Toyota и General Motors.

В России система энергоменеджмента по методологии ЮНИДО внедрена на 40 предприятиях и на данный момент внедряется ещё на 25. В программе принимали участие: Пивоваренная компания Балтика, Уральская Горно-Металлургическая Компания (УГМК), предприятия Холдинга Ак Барс, АО «ПО завод им. Серго», КВАРТ. В ходе Венского Энергетического Форума в 2015 году представители пивоваренной компании «Балтика» получили премию за отличительные успехи в области энергосбережения и

энергоменеджмента, связав свой успех с методологией ЮНИДО. Система энергоменеджмента по методологии ЮНИДО была внедрена также на Магнитогорском Металлургическом Комбинате.

В октябре 2016г. завершилось внедрение СЭНМ на десяти малых и средних предприятиях г. Набережные Челны, суммарная экономия на которых составила 44 млн. рублей. Примечательно, что в этой группе, помимо промышленных компаний, в проекте участвовали несколько организаций бюджетного сектора - водоканал и электротранспорт, а также одна управляющая компания (УК "Жилкомсервис"), которая стала победителем третьего всероссийского конкурса в области энергосбережения и повышения энергоэффективности ENES-2016 в номинации «Эффективная управляющая компания (ТСЖ) в области энергосбережения».

Компания	Электроэнергия	Газ	Отопление
АО «Катур-Инвест»	-4,55%	-2,18%	
ПАО «Надеждинский металлургический завод»	-0,59%		
Кедровский разрез «Кузбассразрезуголь»	-16,73%		
Ревдинский ЗОЦМ	-6,99%	-33,49%	
ОАО «Шадринский автоагрегатный завод»	-10,63%	-2,77%	
Кировский ЗОЦМ	-1,61%		
АО «Сухоложский литейно-механический завод»	-11,73%	-11,46%	
МЗ «Электросталь Тюмени»	-0,13%	-0,48%	
АО «Тепличное»		-4,99%	
ООО "СиЭнЭйч Индастриал"			-24,32%
ООО "Сатурн"	-7,68%	-5,87%	-9,68%
ООО ПО "Начало"	-1,49%		
ООО "Автотехник"	-24,25%	-7,69%	
ООО"Магнолия-С	-3,34%		-2,96%
ООО "ПКФ "Жилкомсервис"			-5,97%
ООО "Электротранспорт"	-13,73%		
ООО «ДОМКОР»	-10,24%	-0,19%	-5,71%
Компания	Электроэнергия	Тепло	Вода
Балтика-Санкт-Петербург	-12,20%	-19,75%	-17,55%
Балтика-Тула	-4,37%	-0,92%	-2,59%
Балтика-Ярославль	-8,58%	-0,67%	-12,77%
Балтика-Ростов	-7,30%	-13,20%	-7,80%
Балтика-Самара	-4,70%	-6,00%	-4,10%
Балтика-Хабаровск	-11,60%	-8,90%	-5,30%

Таким образом, в результате низкозатратных мероприятий в рамках внедрения СЭНМ была получена следующая экономия:

- В 2015 году Пивоваренная компания Балтика сэкономила более 72 млн. рублей беззатратными и малозатратными способами благодаря системе энергоменеджмента;
- В 2015 году Магнитогорский Металлургический Комбинат сэкономил энергоресурсов на 1,117 млрд. рублей, используя незатратные и малозатратные мероприятия;
- Также в 2015 году за 9 месяцев работы системы энергоменеджмента по методологии ЮНИДО на 8 предприятиях УГМК беззатратными мероприятиями было сэкономлено по предварительным подсчетам 34,3 млн. кВтч, 4,1 млн. м. газа, что эквивалентно 94,5 млн рублей;
- На 5 предприятиях ХК «Ак Барс» за полтора года было сэкономлено более 2 млн. кВтч электроэнергии, более 2,9 млн. м. газа, более 15 тыс. м. воды;

- В ходе реализации проекта Завод им.Серго (ПОЗиС) сэкономил 2,6 млн. кВтч электроэнергии и 1,2 млн. м. газа;
- Завод «КВАРТ» в г. Казани за 2015 год сэкономил энергоресурсов на сумму более 2,1 млн. рублей за счёт оптимизации производства беззатратным способом.
- В 2016г. экономя на 10 МСП в Набережных Челнах составила 44 млн. рублей за счет внедрения систем энергоменеджмента.

Для поддержки усилий предприятий при построении системы энергоменеджмента ЮНИДО также проводит тренинги по повышению квалификации технических специалистов по направлениям: тягодутьевое оборудование, пароконденсатные системы, насосы и гидравлические системы, системы сжатого воздуха, системы электропривода, системы охлаждения.

По программе ЮНИДО прошло обучение:

- 55 предприятий;
- больше 300 сотрудников предприятий;
- больше 150 экспертов по программе оптимизации промышленных систем.

Практика показала, что методология ЮНИДО может успешно применяться не только для промышленных предприятий, но и в целом для Муниципалитетов.

В настоящее время ЮНИДО впервые в мире реализует программы внедрения СЭнМ в таких муниципалитетах, как город Астахань, город Набережные Челны, Мамадышский и Нурлатский муниципальный районы Республики Татарстан.

Цель Программ – уменьшение затрат Муниципалитетов на закупку энергоресурсов за счет организационных мероприятий.

Опыт показал, что за счет организационных – не затратных мероприятий каждое муниципальное учреждение может добиться ежегодной экономии энергопотребления в размере 3-5% на протяжении 3-5 лет.

Цель Программы – создание системы энергетического менеджмента муниципалитета за счет ее внедрения в каждом отдельном муниципальном учреждении.

Программа рассчитана на 3-5 лет реализации.

Программой предусматривается формирование пилотной группы из 20-30 учреждений, в которую входят по 3-5 муниципальных учреждения, таких как учреждения образования (школы, детские сады), здравоохранения, коммунального хозяйства (Горсвет), транспорта (автобусы, трамваи, троллейбусы), а также управляющие компании, обслуживающие жилые дома.

В течение первого года действия Программы для пилотной группы проводится обучение и оказывается помощь в практической реализации мероприятий СЭнМ.

В последующие периоды учреждения, внедрившие СЭнМ, продолжают ее совершенствовать, а обучение проходят остальные муниципальные учреждения.

Программой предусмотрено формирование рабочей группы по СЭнМ и назначение Энергоменеджера муниципалитета, которые осуществляют анализ эффективности потребления энергоресурсов каждым муниципальным учреждением с использованием инструмента, разработанного ЮНИДО.

Опыт реализации Программы показал, что она легко для восприятия всеми участниками, даже не имеющими специальных технических знаний. Это позволяет вовлечь в работу по энергосбережению широкого круга сотрудников, например в школах - школьников и их родителей.

УДК 66.023

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ПАРОВ  
ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ  
A HIGH EFFICIENCY MACHINE FOR VAPOUR RECOVERY OF LIGHT  
HYDROCARBONS**

**Дмитрий Анатольевич Баранов, Мурад Гасан-Гусенович Багомедов  
Dmitriy A. Baranov, Murad G. Bagomedov**

*Московский политехнический университет, Россия, Москва  
Moscow Polytechnic University, Russia, Moscow  
(e-mail: baranov@msuie.ru, bagomedovmurad@mail.ru)*

*Аннотация:* В докладе приводятся методы улавливания паров вредных веществ из воздуха, на основании анализа предложен высокоэффективный абсорбционный аппарат горизонтального типа.

*Abstract:* The report gives methods for trapping vapors of harmful substances from the air, based on the analysis, a high-performance horizontal-type absorption apparatus is proposed.

*Ключевые слова:* процесс абсорбции, массообменный аппарат, горизонтальный абсорбер, выбросы углеводородов, очистка газов, улавливание паров углеводородов.

*Keywords:* the absorption process, mass-exchange apparatus, horizontal absorber, the emissions of hydrocarbons, purification of gases, vapour recovery of hydrocarbons.

В настоящее время в России проблема попадания паров легких углеводородов в атмосферу на автозаправочных станциях и при перегрузки нефти и нефтепродуктов имеет важное значение. По официальным данным в атмосферу ежегодно выбрасывается до 1,3 млн. т. легкокипящих фракций и углеводородов. Экологический ущерб оценен в 18 млрд. руб.

Анализ литературных данных по составу выбросов паровоздушной смеси (ПВС) в ходе перевалки нефти различных месторождений показывает, что в атмосферу выбрасываются углеводороды от метана до декана, большую часть составляют пентаны, гексаны, гептаны и октаны, являющиеся основными составляющими топлива двигателей внутреннего сгорания. Эти выбросы при взаимодействии с радикалами продуктов сгорания в процессе фотосинтеза в атмосфере могут приводить к образованию токсичных веществ.

Актуальность решения проблемы улавливания паров бензина очевидна и вытекает как из требований обеспечения экологической и пожарной безопасности нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ), нефтебаз (НБ) и АЗС, так и целесообразности возврата потребителям тысяч тонн высокоценных углеводородов.

Существуют различные способы улавливания и утилизации выбросов углеводородов нефти и нефтепродуктов из состава ПВС:

- захолаживания паровоздушной смеси в холодильниках (без изменения давления) до конденсации углеводородов в жидкую фазу;
- сжатие смеси с одновременным захолаживанием до конденсации паров с последующим разделением фаз;
- прямого сжигания углеводородов при их высокой концентрации в паровоздушной смеси;
- адсорбции углеводородов из смеси адсорбентом с последующим разделением фракций;
- разделение паровоздушной смеси на специальных мембранах (мембранные технологии), пропускающих молекулы определенного размера;
- адсорбции углеводородов из смеси адсорбентом с последующей десорбцией и разделением фракций;

-предварительно выделение углеводородов из паровоздушной смеси по одному из вышеперечисленных способов с последующим частичным сжиганием и использованием полученной тепловой энергии.

В первых двух способах проводится захлаживание паровоздушной смеси до температуры  $-40 \div -50$  °С, во втором – еще и сжатие до давления 1 – 5 МПа (в зависимости от состава углеводородов). При этих условиях в первом случае конденсируется 30 – 50%, а во втором – 5 – 100 % углеводородов, содержащихся в смеси. Если первый способ, при кажущейся дешевизне, не обеспечивает удовлетворительных результатов (при сложности обеспечения требуемого качества возвращаемого конденсата), то второй – имеет низкую экономическую эффективность (большие энергозатраты) и не допускает сжатие смесей, содержащих кислород (по причине возникновения взрывоопасных смесей).

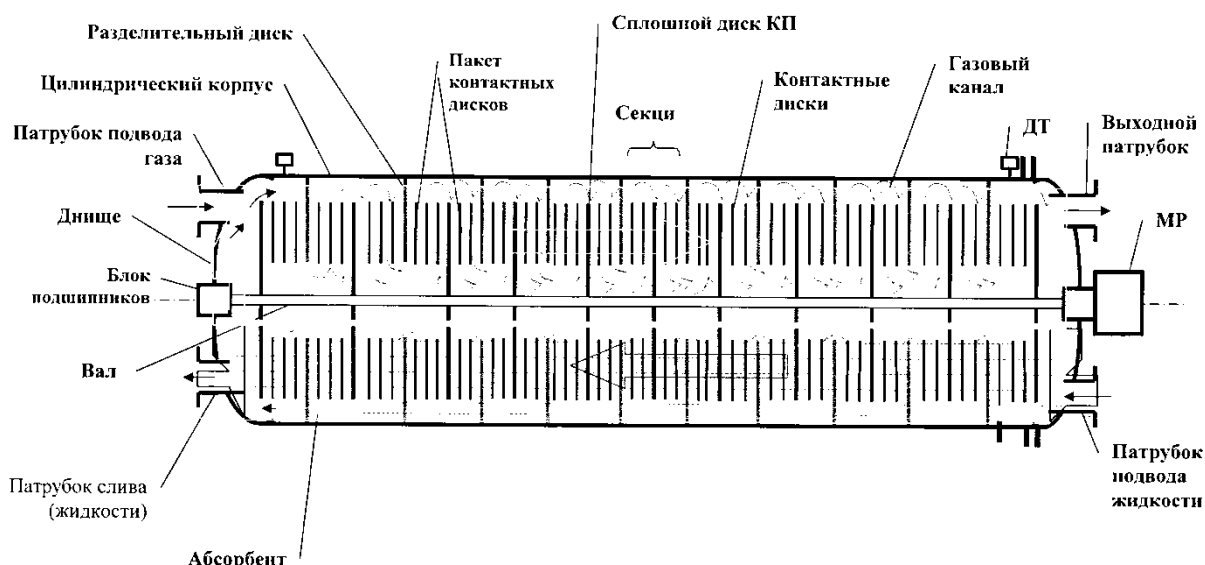
Сжигание углеводородов нефти ведет к прямой потере ценнейших продуктов и допустимо только при высокой концентрации углеводородов в ПВС (по причине возникновения взрывоопасных ситуаций). Следует также отметить, что сжигание углеводородов, начиная с пентана, приводит к вторичному загрязнению окружающей среды.

Адсорбционный способ для обеспечения высокой эффективности требует большую поверхность контакта фаз, которая приводит к увеличению габаритов конструкций.

Мембранная технология улавливания углеводородов требует создания высокопроницаемых мембран с требуемой селективностью и проницаемостью, высокие затраты на компремирование газовой смеси и последующую дегидратацию углеводородов.

Наиболее эффективным, по нашему мнению, является процесс абсорбции, широко распространенный в химической и нефтехимической промышленности. В качестве абсорбента может выступать как сам нефтепродукт, из которого происходит испарение углеводородов, так и другое вещество.

С целью снижения больших габаритов абсорбционных аппаратов была создана конструкция принципиально нового типа. Вместо вертикальных абсорбционных аппаратов была использована конструкция горизонтального типа (см. рис. 1.) [1].



**Рис. 1. Принципиальная схема горизонтального дискового тепло- и массообменного аппарата.**

Принцип работы заключается в следующем. В корпус абсорбера, разделенный неподвижными кольцевыми перегородками на секции, в которых на валу установлены пакеты с контактными дисками, в режиме противотока поступает паровоздушная смесь (ПВС) и абсорбент, уровень которого поддерживается на высоте не более 1/3 от диаметра абсорбера. При вращении вала на поверхности контактных дисков образуется тонкая пленка

абсорбента. Паровоздушная смесь последовательно проходит по зазорам между контактными дисками, при этом пары углеводородов, взаимодействуя с пленкой охлажденного абсорбента, активно поглощаются последним. Очищенный воздух выбрасывается в атмосферу. Абсорбент, насыщенный ЛФУ, возвращается в резервуар с абсорбентом. Темп подачи абсорбента регулируется в зависимости от нагрузки по ПВС и концентрации ЛФУ и может составлять от 100 л/час до 1500 л/час.

Предложенное конструктивное выполнение абсорбционных аппаратов данного типа по сравнению с аппаратами аналогичного назначения и эффективности, например, ректификационными тарельчатыми колоннами, обеспечивает:

- значительное повышение удельной производительности аппарата;
- уменьшение на 30-80 % габаритов и массы конструкции;
- уменьшение на 60 % и более стоимости их изготовления;
- упрощение процесса эксплуатации за счёт автоматизации всех стадий [2].

Важным достоинством данных абсорбционных систем улавливания (АСУ) является также возможность их безопасной установки на всех типах АЗС, нефтебазах и нефтеперевалочных станциях.

Ожидаемый срок окупаемости АСУ от 0,8 до 1,6 года.

С целью регенерации абсорбента и дальнейшего использования уловленных углеводородов, предложена абсорбционно-десорбционная установка, в которой в качестве абсорбента используется – дизельное топливо, охлаждение которого происходит непосредственно в процессе десорбции [3]. Указанный эффект достигнут за счёт совмещения комбинированного абсорбционно-компрессионного холодильного цикла с процессом абсорбции – десорбции лёгких углеводородов из высококипящего абсорбента. В абсорбционно-десорбционном модуле использованы высокоэффективные конструкции горизонтальных плёночных теплообменников аппаратов.

Данная установка характеризуется следующими параметрами:

- полнота улавливания лёгких углеводородов – 97-99 %;
- производительность по паровоздушной смеси – 1-80 м<sup>3</sup>/ч;
- энергопотребление – 3,5-4,5 кВт;
- площадь монтажной площадки под установку – 1 м<sup>2</sup>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2200054 РФ, МПК В01D 53/18 В01D 47/18. Тепло- и массообменный аппарат/ Бердников В.И., Карташов М.А., Баранов Д.А., Беляков О.Д.; Общество с ограниченной ответственностью "ИНОТЕХ". – № 2001134192/12; заявл. 19.12.2001; опубл. 10.03.2003, Бюл. № 7.

2. Бердников В.И., Баранов Д.А. Установка для улавливания паров углеводородов из паровоздушных смесей // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2004. - № 11. – С. 8-11

3. Пат. 2316384 РФ, МПК В01D 53/18. Способ улавливания и рекуперации паров углеводородов и других легкокипящих веществ из парогазовых смесей и устройство для его реализации/ Бердников В.И., Баранов Д.А. (RU). – № 2001134192/12; заявл. 20.08.2004; опубл. 10.02.2008, Бюл. № 4.

УДК 662.75, 631.2:665.7

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ  
QUALITY CONTROL OF LIGHT PETROLEUM PRODUCTS  
ON AGRICULTURAL ENTERPRISES**

**Алексей Юрьевич Корнев, Анна Павловна Ликсутина, Станислав Александрович  
Нагорнов, Игорь Вячеславович Бусин, Батырбек Тулегенович Алибаев  
Alexey Yu. Kornev, Anna P. Liksutina, Stanislav A. Nagornov, Igor V. Busin,  
Batyrbek T. Alibaev**

*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и  
нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Россия, Тамбов  
Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Russia, Tambov  
(e-mail: vniitinlab7@yandex.ru, snagornov@yandex.ru, igorek19883108@mail.ru)*

*Аннотация:* Исследована ситуация с качеством светлых нефтепродуктов в сельскохозяйственных предприятиях. Определены основные причины снижения качества нефтепродуктов, предложены алгоритм и средства контроля качества, методы его улучшения.

*Abstract:* The situation with the quality of light petroleum products in agricultural enterprises is investigated. The main reasons of the decline the quality of petroleum products are identified, an algorithm and means for quality control, methods for improving the quality of petroleum products are proposed.

*Ключевые слова:* нефтепродукты, топливо, качество, контроль, экспресс-лаборатория.

*Keywords:* petroleum products, fuel, quality control, express laboratory.

Уровень развития агропромышленного комплекса (АПК) во многом определяется технической оснащённостью, которая зависит от регулярного обновления сельскохозяйственной техники и энергетических ресурсов, а также их качества. К сожалению, техническая оснащённость сельскохозяйственного производства снижается, а машинно-тракторный парк большинства предприятий остается недостаточно укомплектованным из-за постоянного выбывания и изношенности техники [1, 2]. Несмотря на это, сельское хозяйство остается крупным потребителем светлых нефтепродуктов и расходует значительное количество дизельного топлива и бензина [3, 4]. Вместе с тем в обеспечении сельчан качественными горюче-смазочными материалами наблюдаются существенные проблемы, сказывающиеся в конечном итоге на ритмичности работы техники и соблюдении сроков агротехнических операций [5, 6].

Эти проблемы связаны как с доставкой, хранением и использованием нефтепродуктов непосредственно в хозяйствах, так и с добычей, переработкой нефти и поставкой нефтепродуктов на внутренний рынок страны. Из-за низких темпов модернизации машинно-тракторного парка, преобладания в его составе изношенной и устаревшей техники, ориентирования большинства индивидуальных сельскохозяйственных предприятий в первую очередь на низкую отпускную цену горюче-смазочных материалов (ГСМ), а уже потом на их качество, АПК не успевает за модернизацией нефтеперерабатывающей промышленности. Спрос АПК на дешевое топливо низкого класса удовлетворяется в основном за счет продукции, производимой на мини НПЗ или суррогатов, получаемых на нефтебазах смешиванием качественных топлив с полуфабрикатами, закупаемыми у крупных НПЗ [7 – 9].

Наблюдения сотрудников ФГБНУ ВНИИТиН за качеством нефтепродуктов, поступающих в хозяйства Тамбовской области подтверждают сказанное выше. Установлено,

что в период с 2010 по 2015 г от 7 до 25 % из отобранных проб бензинов и дизельных топлив имели несоответствия по одному или нескольким показателям качества (таблица 1).

**Таблица 1. Примеры недоброкачественных проб дизельного топлива, поставлявшихся в хозяйства Тамбовской области**

Показатели	№ образца						ГОСТ Р 52368 У / X	Тех. Пер.
	1	2	3	4	5	6		
Цетановое число, не менее	–	–	–	–	–	–	51 / 47...49	45...51
Цетановый индекс, не менее	42	41	41	45	43	42	46 / 43...46	–
до температуры 180 °С, % (об.)	28	3	14	1	8	15	– / ≤10	–
при температуре 250 °С, % (об.)	67	40	49	42	62	38	≤65 / –	–
до температуры 340 °С, % (об.)	95	85	90	86	92	90	– / ≥95	–
при температуре 350 °С, % (об.)	97	89	93	90	96	91	≥85 / –	–
50 % (об.) перегон. при темп., °С	229	267	252	263	234	275	– / –	–
95 % (об.) перегон. при темп., °С	340	379	357	380	345	–	≤360 / –	360
96 % (об.) перегон. при темп., °С	346	384	361	383	350	–	– / –	–
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	2,2	3,8	3,0	3,8	2,9	5,5	2,0...4,5 / 1,2...4,0**	–
Темп. вспышки в закр. тигле, °С	23	56	35	55	46	38	> 55	40
Темп. помутнения, °С (не выше)	-11	+1	-2	-10	-12	-4	– / -10...-34	–
Предельная темп. фильтруемости, °С	-18	-10	-13	-17	-15	-11	+5...-20 / -20...-44	-20*
Температура застывания, °С	-35	-25	-35	-27	-35	-12	– / –	–
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	810	830	815	840	807	849	800...845	–
Кислотность, мг КОН/100 см <sup>3</sup>	1,0	1,5	2,1	3,6	1,7	2,4	– / –	–
Общее загрязнение, мг/кг	82	56	25	48	30	250	≤24	–
Содержание воды, мг/кг	200	100	200	300	500	400	≤200	–
Содержание серы, мг/кг	310	1987	321	192	463	5000	10...350	10...500
Содержание меркаптановой серы, %	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	–	–
Содержание ПАУ, %	8	5	7	3	11	4	11	11
Зольность, %	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	≤0,01	–
Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа при 60 °С, мкм	472	455	474	460	482	392	≤460	460

\* Для Холодной климатической зоны

\*\* При температуре 40 °С

\*\*\* При температуре 20 °С

Аналогичные результаты публикуют и другие исследователи. Например, по данным обследований, проведенных ФГБНУ «Алтайская МИС» в период с 2010 по 2012 г., количество проб бензинов и дизельных топлив, не соответствующих требованиям нормативной документации, составило в 2010 г. 7 %, в 2011 г. – 9,6 %, в 2012 г. – 13,7 % [10]. В 2013 – 2014 г. ФГБНУ «Центрально-Черноземная МИС» отметила наличие несоответствия требованиям по октановому числу, фракционному составу, плотности, содержанию механических примесей и воды у 15 % исследованных проб светлых нефтепродуктов [11]. По данным мониторинга ГСМ, проведенного ФГБНУ «Владимирская МИС» в период с 2011 по 2013 г., около 30 % из всех отобранных проб дизельного топлива оказались недоброкачественными. При этом топливо, произведенное по ГОСТ 305, не соответствовало ему по показателям кинематической вязкости и температуре застывания, а топливо Евро (ГОСТ 52368) – по фракционному составу и плотности [12].



Таким образом, уже при закупке часть ГСМ, попадающих в АПК, не соответствует нормам качества и характеризуется измененным химическим составом (завышенное содержание серы, полициклических и ароматических соединений), сильно облегченным или утяжеленным фракционным составом, наличием большого количества парафиновых углеводородов и даже запрещенных к применению присадок.

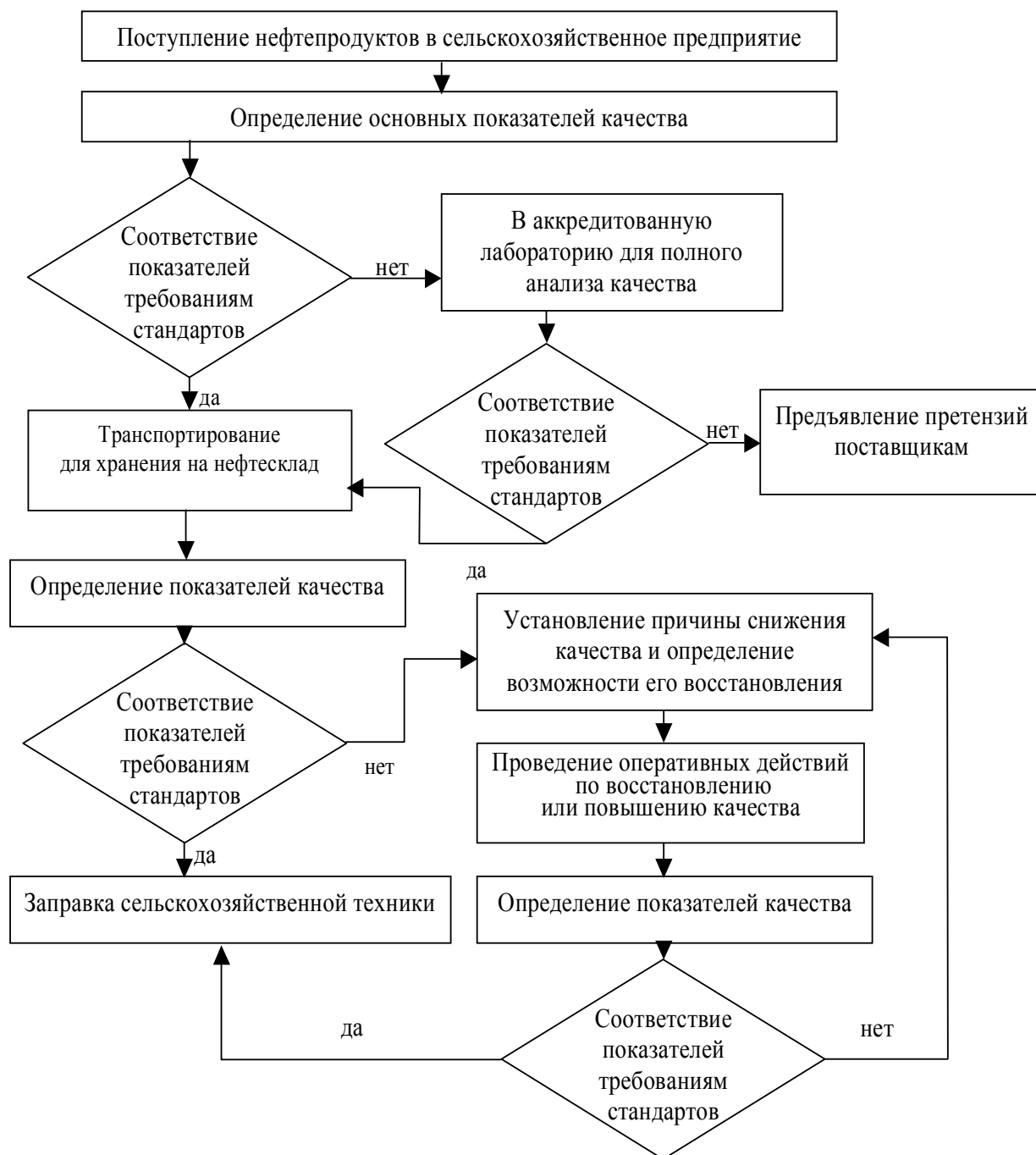
Другие отклонения от требуемых показателей качества, обусловлены техническим состоянием средств доставки и хранения ГСМ в сельскохозяйственных предприятиях, в первую очередь нефтескладского оборудования. Обследования сотрудниками ФГБНУ ВНИИТиН средств доставки и заправки нефтепродуктов, резервуарных парков нефтескладов сельскохозяйственных предприятий Тамбовской области показали, что срок службы резервуаров составляет 30 и более лет. До 90 % резервуаров, эксплуатируемых в настоящее время, находятся в аварийном состоянии [13].

Для контроля качества светлых нефтепродуктов нефтеперерабатывающие заводы и крупные нефтебазы имеют в своем составе специализированные лаборатории. Однако большинство сельскохозяйственных предприятий не имеет возможности применять средства контроля качества не только хранящихся, но даже закупаемых нефтепродуктов. Им приходится полагаться на заключения и документы на продукцию, предоставляемые поставщиками. Некоторые хозяйства обращаются к независимым экспертам, лишь в случаях массового выхода техники из строя, что оборачивается потерей времени и дополнительными расходами. На наш взгляд, небольшим нефтескладам или сельскохозяйственным производителям целесообразно оценивать свойства нефтепродуктов простыми экспресс – методами взяв за основу несложный алгоритм (рисунок 1), после чего принимать окончательное решение по использованию. Экспресс-контроль проводят с целью определения соответствия некоторых физико-химических показателей топлив требованиям действующих стандартов и технических условий.

В связи с этим, большое значение приобретает разработка простых и доступных для сельского товаропроизводителя методов и средств экспресс анализа качества, контролируемых необходимый и достаточный минимум показателей, выделенных из основной массы на основании научных исследований. Вопрос использования средств экспресс-контроля качества на небольших нефтебазах и в хозяйствах разрабатывается достаточно давно, накоплен богатый опыт внедрения портативных лабораторий, ориентированных как на топлива, так и на смазочные материалы [14 – 16]. Однако стоимость большинства таких комплектов остается достаточно высокой для рядовых потребителей, а некоторые методы и приборы, включаемые в комплекты, требуют наличия у оператора специальных знаний и навыков. Предлагаемые как альтернатива «универсальные» датчики состояния нефтепродуктов часто обеспечивают не полную картину контролируемых показателей [17].

Переносной комплект средств для экспресс-анализа светлых нефтепродуктов – ЭЛТ-1 (рисунок 2), разработанный в ФГБНУ ВНИИТиН, предназначен для быстрого определения основных потребительских качеств автомобильных бензинов, дизельного топлив, некоторых показатели качества биотоплив:

- 1) плотность автомобильного бензина, дизельного топлива или биотоплива;
- 2) кинематическая вязкость автомобильного бензина, дизельного топлива или биотоплива;
- 3) наличие механических примесей;
- 4) наличие воды;
- 5) наличие водорастворимых кислот и щелочей;
- 6) содержание фактических смол;
- 7) содержание непредельных углеводородов;
- 8) коррозионная агрессивность.



**Рисунок 1. Базовый алгоритм контроля качества нефтепродуктов в сельскохозяйственных предприятиях**



**Рисунок 2. Комплект экспресс-лаборатории анализа качества светлых нефтепродуктов ЭЛТ-1**

Время развертывания лаборатории в рабочее положение – 6 мин, продолжительность выполнения комплекса анализов для одного вида топлива – не более 35 мин.

По сравнению с ранее выпускавшимися ручными экспресс - лабораториями, ЭЛТ-1 более компактна, имеет меньшую массу, содержит набор приборов, химической посуды и химикатов, позволяющий выполнить 200 анализов без дополнительных затрат.

Опыт эксплуатации лаборатории ЭЛТ-1 на нефтескладах сельскохозяйственных предприятий Центрально-Черноземного района показал эффективность выявления нефтепродуктов с физико-химическими показателями, не соответствующими требованиям нормативно-технической документации.

Исходя из анализа причин ухудшения качества светлых нефтепродуктов, поступающих в сельскохозяйственные предприятия, известного влияния механических примесей, воды, повышенного содержания серы и парафинов на работу топливной аппаратуры двигателей, неудовлетворительного состояния нефтескладского оборудования сельскохозяйственных предприятий, следует, что для сохранения необходимого качества используемого дизельного топлива нужен не только входной и выходной контроль качества, но и новые способы его сохранения и улучшения. ФГБНУ ВНИИТиН ведутся работы по разработке методов и оборудования для комплексной обработке нефтепродуктов, позволяющие как проводить очистку от механических примесей и воды (в том числе эмульсионной), так и затрагивающих химический состав топлива, снижающих содержание парафиновых углеводородов, серосодержащих соединений, а также тяжелых фракций. Указанные эффекты достигаются за счет сочетания воздействия физических полей различной природы и химических реагентов, тем самым улучшая эксплуатационные характеристики топлива.

Главная же цель таких мероприятий – своевременное обеспечение сельскохозяйственной техники предприятий горюче-смазочными материалами надлежащего качества, снижение потерь нефтепродуктов, затрат на техническое обслуживание и ремонт машин, а также исключение простоев техники, вызванных использованием некачественных нефтепродуктов, особенно в период сезонных работ.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Полухин А.А. Техническая модернизация сельского хозяйства России в условиях международной интеграции и экономических санкций // RJOAS: Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. № 6 (42). 2015. С. 41 – 51.

2. *Дробин Г.В., Свиридова С.А.* Перспективные пути переоснащения АПК отечественной техникой // Техника и оборудование для села. № 11. 2015. С. 42–45.
3. *Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Жалнин Э.В.* Потенциал биоэнергетики в России // Вестник Орел ГАУ. № 6. 2007. С. 34–37.
4. *Сорокин Н.Т.* О законодательном обеспечении основ биоэнергетики // Достижения науки и техники АПК. № 6. 2007. С. 1–6.
5. *Боровиков Ф.* Страна просит хорошего топлива // Нефть и жизнь. № 2. 2014. С. 6-7.
6. *Андреанов В.* Рынки дизельного топлива. Все лучшее – на экспорт, себе – бодягу? // Нефтегазовая вертикаль. №9. 2015. С. 60–65.
7. *Коровина Ю.В.* Причины и факторы сохранения производства и потребления низкокачественного топлива в РФ // 2014.
8. Качество ГСМ, приобретаемых предприятиями АПК // 2013. [http://altmis.ru/publ/kachestvo\\_gsm\\_priobretaemykh\\_predpriyatijami\\_apk/1-1-0-21](http://altmis.ru/publ/kachestvo_gsm_priobretaemykh_predpriyatijami_apk/1-1-0-21).
9. *Корнев А.Ю., Бектилегов А.Ю., Алибаев Б.Т.* Причины снижения качества светлых нефтепродуктов, используемых в сельском хозяйстве // Наука в центральной России. 2016. № 4 (22). С. 15-26.
10. Качество ГСМ, приобретаемых предприятиями АПК. [Электронный ресурс] URL: [http://altmis.ru/publ/kachestvo\\_gsm\\_priobretaemykh\\_predpriyatijami\\_apk/1-1-0-21](http://altmis.ru/publ/kachestvo_gsm_priobretaemykh_predpriyatijami_apk/1-1-0-21) (дата обращения 26.04.2016).
11. Мониторинг горюче-смазочных материалов в хозяйствах Курской области. [Электронный ресурс] URL: <http://chmis.ru/index.files/Page63920.htm> (дата обращения 26.04.2016).
12. Качество дизельного топлива, используемого сельхозпроизводителями Владимирской области. [Электронный ресурс] URL: [HTTP://WWW.VLADMIS.RU/index.php/en/publikatsii-2014/330-kachestvo-dizelnogo-topliva-ispolzuemogo-selkhozproizvoditelyami-vladimirskoj-oblasti](http://WWW.VLADMIS.RU/index.php/en/publikatsii-2014/330-kachestvo-dizelnogo-topliva-ispolzuemogo-selkhozproizvoditelyami-vladimirskoj-oblasti) (дата обращения 26.04.2016)
13. *Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Алибаев Б.Т.* Связь качества моторного топлива с современным состоянием нефтескладов // Наука в центральной России. 2016. № 4 (22). С. 26-35.
14. *Коваленко В.П., Улюкина Е.А., Новик А.С., Нагорнов С.А., Остриков В.В.* Экспресс-контроль качества моторных масел при эксплуатации сельскохозяйственной техники // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. С. 140-143.
15. *Остриков В.В., Корнев А.Ю., Вязинкин В.С., Белогорский В.В.* Анализ качества смазочных материалов // Сельский механизатор. 2009. № 5. С. 37.
16. *Остриков В.В., Белогорский В.В., Корнев А.Ю.* Использование смазочных материалов в АПК и контроль их качества // Техника в сельском хозяйстве. 2007. № 6. С. 40-43.
17. *Корнев А.Ю., Остриков В.В., Вязинкин В.С., Шихалев И.Н.* Испытания трибодатчика для контроля уровня деградации масла // Наука в центральной России. 2013. № 4. С. 14-18.

УДК 621.165

**РАЗРАБОТКА ДЕТАНДЕРА ДЛЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ,  
РАБОТАЮЩЕЙ ПО ОРГАНИЧЕСКОМУ ЦИКЛУ РЕНКИНА  
DEVELOPMENT OF DETANDER FOR THERMOELECTRIC PLANT WORKING ON  
THE ORGANIC RANKINE CYCLE**

**Илья Николаевич Соломин\***, **Айрат Заудатович Даминов\*\***,  
**Ренат Ахатович Садыков\*\*\***  
**Ilya N. Solomin\***, **Ayrat Z. Daminov\*\***, **Renat A. Sadykov\*\*\***

\* ЗАО «НПП «Компрессор», Россия, Казань

\* ЗАО «NPP «Compressor», Russia, Kazan

(e-mail: solill@yandex.ru)

\*\* Казанский научный центр РАН, Россия, Казань

\*\* Kazan Scientific Center of RAS, Russia, Kazan

(e-mail: daminov@list.ru)

\*\*\* Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Казань

\*\*\* Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia, Kazan

(e-mail: sadykov\_r\_a@mail.ru)

*Аннотация:* Рассмотрены технические основы применения термоэлектрических установок, работающих по органическому циклу Ренкина. Приведены расчеты для применения установки на базе одноступенчатого радиально-осевого детандера. В качестве рабочего тела использовался хладон R245fa, для которого определена зависимость изобарной теплоемкости от температуры. Рассчитан контур проточной части детандера, и определены конструктивные параметры рабочего колеса и статорной части детандера.

*Abstract:* The technical fundamentals of the application of thermoelectric devices operating on the organic Rankin cycle are considered. Calculations for the plant on the basis of a single-stage radial-axial expander are presented. The refrigerant R245fa was used as a working medium and the depending of isobaric heat capacity from the temperature is defined. The contour of the flowing part of the expander is calculated as well as the design parameters of the rotor wheel and the stator part of the expander.

*Ключевые слова:* органический цикл Ренкина, турбина, эффективность.

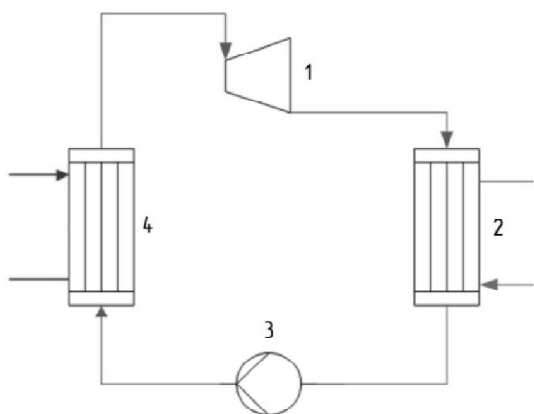
*Keywords:* organic Rankine cycle, turbine, efficiency.

При использовании установок, работающих по органическому циклу Ренкина (ОЦР-установка), возможна генерация электроэнергии на источниках тепловой энергии со значительно низкими показателями температур, по сравнению с классическим циклом Ренкина. Это достигается использованием органических рабочих тел в данных установках, имеющих более низкую температуру кипения по сравнению с водой. Подобными источниками, на которых возможно осуществление технологии ОЦР, являются отопительные и промышленные водогрейные котельные установки.

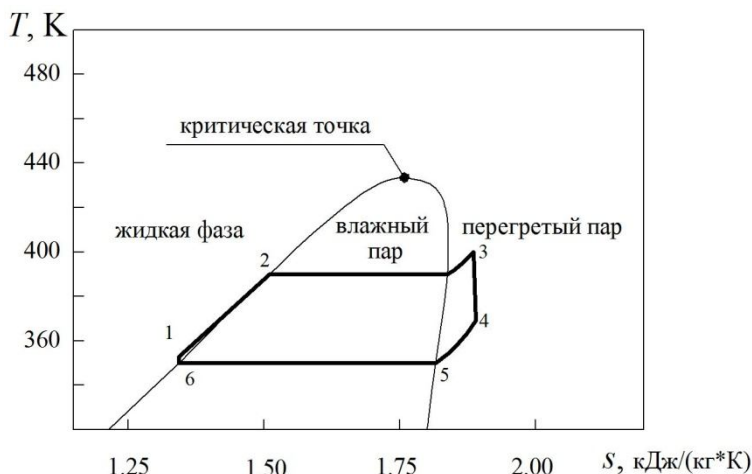
В данной статье рассмотрен один из подходов разработки турбины (детандера), для установки, работающей по ОЦР на предлагаемом хладоне (рис.1).

Наиболее подходящим хладоном для использования в данных установках является хладон R245fa, калориметрические свойства и области применения которого приводятся в [1]. Стоит отметить, что данный хладон относится к классу сложных сжимаемых газов (веществ) с трудно описываемыми параметрами реальности. Термодинамические свойства и параметры критической точки предлагаемого хладона взяты из [1], где приводятся параметры критической точки хладона.

Цикл установки с рабочим телом R245fa представлен на рис.2.



**Рис. 1. Упрощенная схема установки ОЦР: 1 – детандер, 2 – конденсатор, 3 – насос, 4 – испаритель.**



**Рис. 2. Цикл установки с рабочим телом R245fa.**

Параметры рабочего тела в точках цикла приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Параметры рабочего тела в точках цикла.**

Точка на диаграмме	Температура, К	Давление, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Энтальпия, кДж/кг	Энтропия, кДж/(кг·К)
1	350.16	1.8100	1187.9	304.78	1.3327
2	390.00	1.8100	1015.7	367.24	1.5014
3	400.00	1.8100	100.47	497.85	1.8358
4	371.05	0.7200	35.810	484.03	1.8461
5	349.52	0.7200	40.045	459.32	1.7775
6	349.52	0.7334	1182.9	303.88	1.3327

Существует несколько подходов описания состояния газа. Для идеального газа используется классическое уравнение, основанное на уравнении Менделеева-Клайперона [2]. Для описания состояния реального газа применяют общеизвестные модели состояния Редлиха-Квонга [2], Пенга-Робинсона [3], а также доработанные модели Редлиха-Квонга [2-4].

Для расчета потока реального газа через проточную часть рабочего колеса (РК) и дальнейшего расчета параметров его геометрии применена наиболее полная модель Пенга-Робинсона:

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a(T)}{V^2 - 2Vb + b^2} \quad (1)$$

где  $p$  – абсолютное давление газа;  $V$  – удельный объем;  $T$  – абсолютная температура;  $R$  – газовая постоянная;  $a$ ,  $b$  – коэффициенты [3].

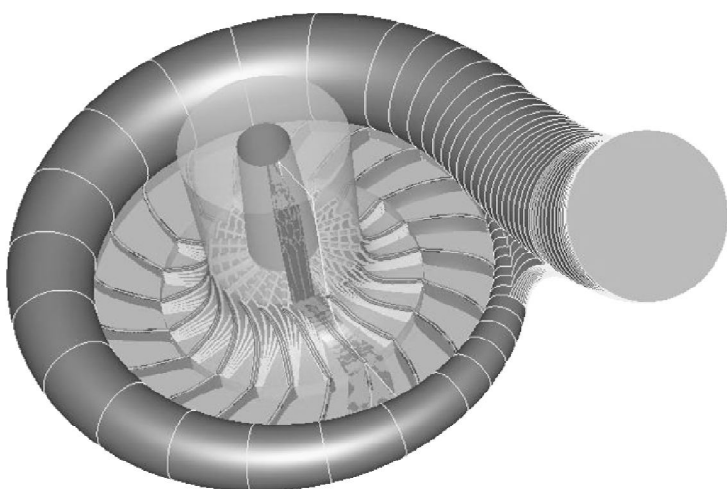
Данная модель была дополнена зависимостью изобарной теплоемкости хладона от температуры. В разработке данной зависимости использованы аппроксимационные значения коэффициентов полинома:

$$C_p = 246,94 + 2,4226T - 0,0013T^2 + 4 \cdot 10^{-7} T^3 \quad (2)$$

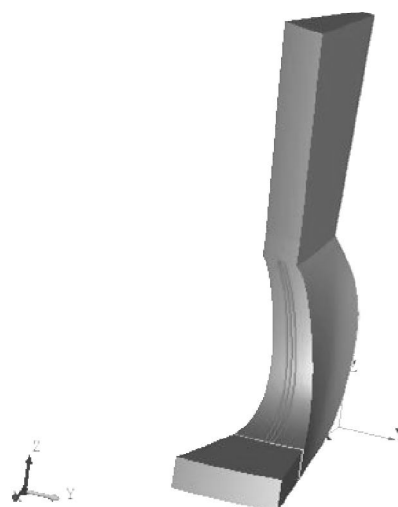
Данная полиномиальная зависимость изобарной теплоемкости от температуры с приведенными аппроксимационными коэффициентами с достаточной для практических расчетов точностью описывает данный параметр хладона R245fa.

Проточная часть детандера представлена на рис. 3.

После проведения всех расчетов, конструктивные параметры детандера минимально дорабатывались исходя из условий простоты изготовления и повышения КПД турбомашин по рекомендациям [5] и CFD-моделирования течения газа в программном комплексе ANSYS. 3-d модель расчетного проточного сегмента представлен на рис. 4.



**Рис. 3. Проточная часть детандера.**



**Рис. 4. Модель проточной части детандера (для CFD-расчета).**

Установлено, что турбина с осерадиальным типом РК может обладать достаточной эффективностью при работе на хладоне R245fa в условиях эксплуатации водогрейных котельных установок.

На основе балансовых расчетов энергии установлена возможность использования термоэлектрических установок, работающих по органическому циклу Ренкина, для генерации электроэнергии для собственных нужд на источниках распределенной энергетики, использующие в качестве теплоносителя воду [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Lemmon, E.W. and Span, R.* «Short Fundamental Equations of State for 20 Industrial Fluids» J. Chem. Eng. Data, 51:785-850, 2006.
2. *Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т.* Свойства газов и жидкостей. М.: Химия, 1982. 592 с.
3. *Peng, D.Y., Robinson, D.B.* A New Two-Constant Equation of State, Industrial and Engineering Chemistry: Fundamentals, Vol. 15. pp. 59–64. 1976.
4. *Aungier, R.H.* A Fast Accurate Real Gas Equation of State for Fluid Dynamic Analysis Applications // Journal of Fluids Engineering, Vol. 117. pp. 277-281. 1995.
5. *Епифанова В.И.* Низкотемпературные радиальные турбо-детандеры. Учебник для вузов. Изд. 2-е переработанное и дополненное. М.: Машиностроение, 1974. 448 с.
2. *Садыков Р.А., Даминов А.З., Соломин И.Н., Футин В.А.* Применение турбодетандера в паросиловых установках для утилизации тепловой энергии в системах теплоснабжения // Теплоэнергетика. 2016. №5. С. 56-62.

УДК 674.04

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ И  
РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ  
ENERGY SAVING IN THE PROCESSES OF DRYING WOOD AND VEGETATIVE RAW  
MATERIALS**

**Руслан Рушанович Сафин\*, Ильшат Фердинатович Хакимзянов\*,  
Гульшат Фердинатовна Хакимзянова\*\*, Валерий Владимирович Губернаторов\*  
Ruslan R. Safin\*, Ilshat F. Khakimzyanov\*,  
Gulshat F. Khakimzyanova\*\*, Valeriy V. Gubernatorov\***

*\*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, Казань*

*\*Kazan National Research Technological University, Russia, Kazan*

*(e-mail: cfaby@mail.ru, ilshat\_170@mail.ru, valera\_gub@mail.ru)*

*\*Казанский национальный исследовательский технический университет*

*им. А.Н. Туполева – КАИ, Россия, Казань*

*\*\*Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Russia, Kazan*

*(e-mail: gulshat-cielo@mail.ru)*

*Аннотация:* В статье представлена конвективная вакуумная сушильная установка тарельчатого типа. В ходе проведения экспериментов было выявлено, что наибольшая эффективность процесса достигается при давлении 50-60 кПа, температуры агента сушки 84-87 °С и скорости движения 6-7 м/с. Кроме того, данная технология сушки позволяет снизить энергозатраты на проведение процесса за счет сокращения потерь тепла в окружающую среду и снижения продолжительности процесса.

*Abstract:* The article presents convective vacuum drying installation of dish-shaped type. During experiments it has been revealed that the greatest efficiency of process is reached with a pressure of 50-60 kPa, temperatures of the agent of drying of 84-87 °C and the speed of its movement of 6-7 m/s. Besides, this technology of drying allows us to lower power costs of carrying out the process due to reduction of losses of heat to the environment and decrease in duration of the process.

*Ключевые слова:* сушка, древесина, вакуум, растительное сырье, эффективность.

*Keywords:* drying, wood, vacuum, vegetative raw material, efficiency.

В настоящее время одним из основных способов получения материалов с заданными свойствами является создание композиций на основе известных широко используемых в практике веществ (минеральных вяжущих, полимеров) и различных наполнителей природного и синтетического происхождения (песок, отходы деревообработки и сельскохозяйственного производства).

Для производства древесно-наполненных композиционных материалов – арболита, цементно-стружечных плит, древесно-полимерных композитов, древесно-стружечных плит в основном, применяются различные отходы деревообрабатывающих (низкосортная древесина, тонкомер, щепа, станочная стружка) [1, 2] и сельскохозяйственных производств (стебли хлопчатника, рисовой соломы, костра льна) [3]. При этом древесное и растительное сырье, как правило, имеет высокую влажность (60-100%). В то же время влажность волокнистого наполнителя перед изготовлением композиционного материала должна быть в пределах 2-6%. Более того, в последнее время на предприятиях по выпуску древесно-стружечных плит древесный наполнитель высушивают до 1-3% независимо от ее назначения.



С целью интенсификации процесса на предприятиях сушку обычно проводят при высоких температурах (температура агента сушки в начальный период может достигать до 250°C), что повышает не только пожароопасность, но и взрывоопасность производства.

В этой связи исследование процессов высушивания измельченного древесного и растительного сырья в условиях пониженного давления является актуальным, так как применение вакуумных технологий позволяет значительно интенсифицировать процесс при температурах не более 100°C [4].

Однако при реализации вакуумных способов возникают существенные трудности подвода тепла. Известные способы подвода тепла в вакууме, такие как СВЧ-энергия и контактные методы, являются дорогостоящими и не позволяют достичь равномерной влажности всего высушиваемого материала. Поэтому наиболее перспективными в области вакуумной сушки древесины являются способы при конвективном теплоподводе. В связи с этим можно выделить метод конвективной сушки материалов при стационарном пониженном давлении [5, 6]. Основное технологическое отличие данного способа состоит в том, что сушка происходит при постоянном подводе тепла конвекцией в разреженной среде. Вследствие чего возможно использование более низких температурных режимов, что приводит к существенному снижению энергетических затрат на сушку [7, 8].

В связи с этим были проведены исследования по конвективной сушке измельченного древесного сырья при стационарном пониженном давлении.

Для проведения экспериментальных исследований была создана шахтная сушильная установка с вертикальной циркуляцией теплоносителя (рис. 1).

Комплекс для сушки измельченных материалов состоит из системы подачи влажного сырья 1, камеры сушки 2, системы откачки воздуха 3, системы циркуляции сушильного агента 4 и линии выгрузки высушенного сырья 5.

Система подачи влажного сырья 1 состоит из загрузочного бункера 6, питателя 7, вакуумных затворов 8 и 9 и передающего герметичного бункера 10.

Камера сушки 2 содержит набор перфорированных наклонных полок 11 с увеличивающимся сверху вниз диаметром отверстий, но постоянной суммой площадей отверстий на разных наклонных полках для обеспечения равномерности расхода сушильного агента. Полки закреплены на внутреннем каркасе камеры сушки с возможностью создания вибронагревающего слоя и приводятся в движение при помощи вибропривода 12. Для фиксации остаточного давления в камере сушки 2 предусмотрен манометр 13.

Система откачки воздуха 3 состоит из конденсатора 14, вентиля 15 и 16, вакуумного насоса 17. Система циркуляции сушильного агента 4 состоит из трубопровода, куда вмонтированы вентилятор 18 и калорифер 19. Линия выгрузки высушенного сырья состоит из вакуумных затворов 20 и 21, и промежуточного герметичного бункера 22.

Комплекс для сушки влажных волокнистых измельченных материалов работает следующим образом. Влажное сырье через загрузочный бункер 6 при открытом вакуумном затворе 8 поступает в передающий герметичный бункер 10, при этом количество поступившего сырья регулируется при помощи питателя 7. После подачи определенной порции высушиваемого сырья в передающий герметичный бункер 10, вакуумный затвор 8 закрывается. При этом закрыты вакуумные затворы 9, 20 и 21, и вентили 15 и 16. Одновременно начинается прогрев камеры сушки 2 включением вентилятора 18 и калорифера 19, при котором создается циркуляция сушильного агента через перфорированные наклонные полки 11. Далее открывается вакуумный затвор 9. Происходит подача влажного сырья на перфорированную верхнюю полку. При этом начинается стадия понижения давления в камере сушки 2, рабочее остаточное значение которого определяется согласно плану эксперимента. Процесс вакуумирования производится открытием вентиля 16, подачей хладагента в конденсатор 14 и включением вакуум-насоса 17.

В камере сушки 2 движение сушильного агента и влажного сырья осуществляется в попутном направлении сверху вниз, причем происходит постоянная сепарация измельченного материала, определяющая время тепловой обработки частицы сырья в

зависимости от её размеров. Перфорированные наклонные полки расположены таким образом, что мелкая фракция, просеиваясь через их отверстия, проходит более короткий путь, и, тем самым, сокращается продолжительность тепловой обработки более мелкой фракции. Более крупная фракция перемещается на нижележащую полку через специальный проем или путем просеивания через отверстия полок и проходят более длинный путь. Таким образом, достигается равномерная сушка крупных и мелких фракций.

Далее высушенный материал из камеры сушки 2 через открытый вакуумный затвор 20 попадает в промежуточный герметичный бункер 22. Одновременно происходит разгерметизация камеры сушки с помощью вентиля 23.

После заполнения промежуточного бункера 22 закрывается затвор 20 и открывается вакуумный затвор 21, и происходит выгрузка высушенного материала.

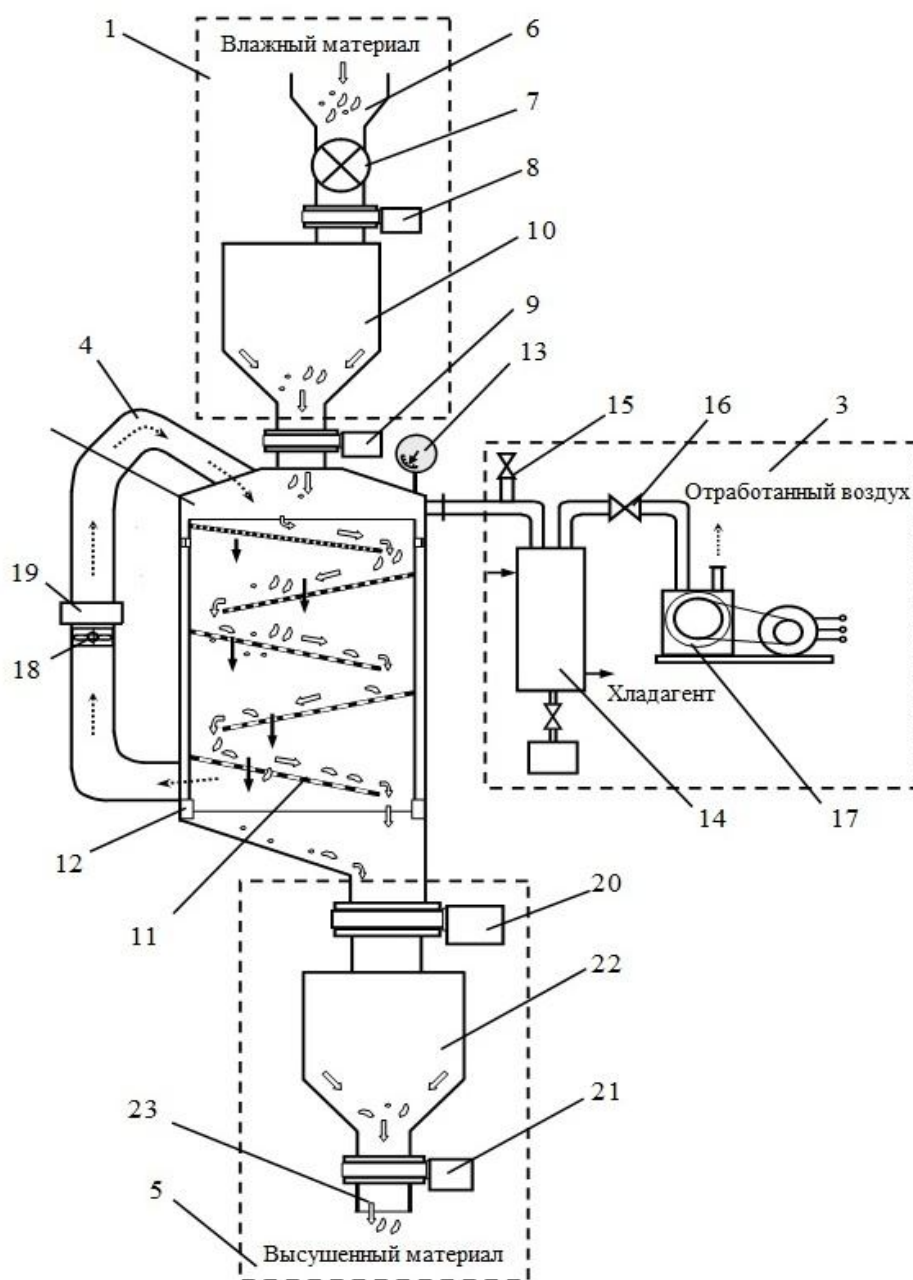
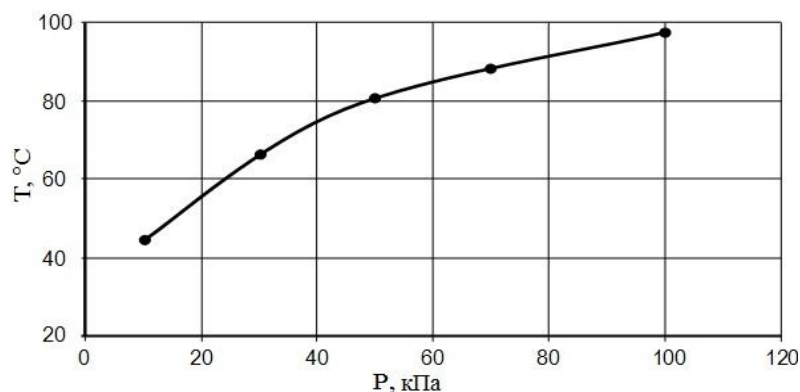


Рис. 1. Схема сушильной установки для сушки измельченного растительного сырья

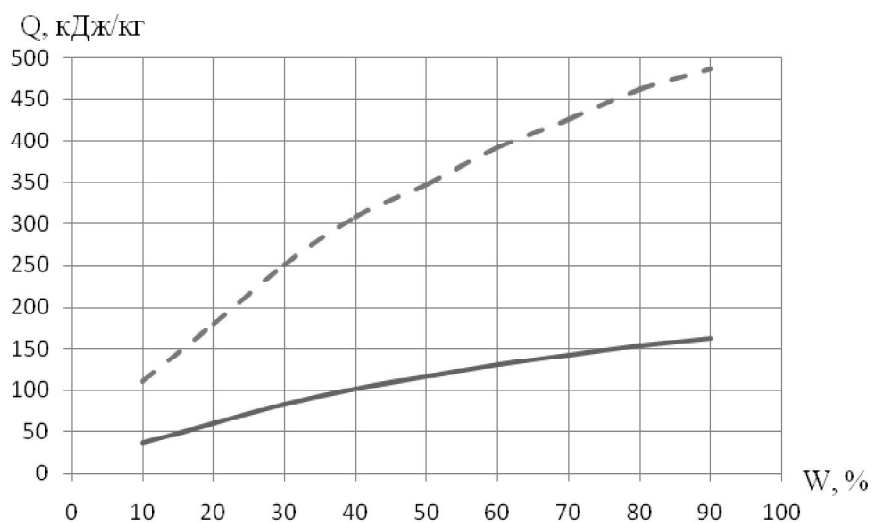
В работе в качестве измельченной древесины были использованы отходы после переработки древесины хвойных и лиственных пород (осина, береза, сосна) на деревообрабатывающих станках столярного цеха с максимальными размерами до 30 мм.

С целью интенсификации процесса и снижения риска самовоспламенения обрабатываемого влажного материала процесс сушки проводится при пониженном давлении. На рисунке 2 представлена зависимость температуры сушильного агента от остаточного давления в камере сушки.



**Рис. 2. Зависимость температуры сушильного агента от остаточного давления в камере**

Кроме того, в ходе проведения исследований было выполнено сравнение потребления тепловой энергии между созданной сушильной установкой и традиционной конвективной сушилкой (рис. 3).



**Рис. 3. Показатели потребления тепловой энергии в зависимости от начальной влажности измельченного сырья:**  
 ----- -конвективная сушилка "кипящего слоя",  
 — - сушильная установка тарельчатого типа.

Из графика видно, что сушка в установке тарельчатого типа проводится с меньшим потреблением тепловой энергии по сравнению с традиционным конвективным способом сушки. Такая экономия достигается особенностью конструкции сушильной установки, которая позволяет рационально использовать тепловую энергию.

В работе приведены результаты по повышению эффективности и качества сушки измельченного растительного сырья путем использования аппарата тарельчатого типа.

Проведена серия экспериментальных исследований, направленных на выявление энергоэффективности предложенной технологии сушки. Установлено, что наличие в сушильной установке перфорированных тарелок позволяет повысить эффективность и равномерность сушки измельченного сырья. При этом наиболее рациональными являются температурные режимы в интервале 84-87 °С при скорости движения теплоносителя 7-8 м/с. Дальнейшее понижение давления к такому результату не приводит, поскольку наблюдается значительное уменьшение коэффициента теплоотдачи. Снижение энергетических затрат на проведение сушки обеспечивается за счет сокращения продолжительности процесса без применения высокотемпературных режимов и возможностью использования вторичных ресурсов тепловой энергии.

Данная работа выполнялась при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук (МД – 5596.2016.8).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Safin R.R., Voronin A.E., Shaikhutdinova A.S., Nazipova F.V., Kaynov P.A.* Method of rational use of waste of timber industries // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. 2015. P. 699-704.
2. *Safin R.R., Shayakhmetova A.H., Nazipova F.V., Timerbaeva A.L., Safina A.V.* Alternative types of solid biofuels and their comparative characteristics // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. 2015. P. 53-58.
3. *Galyavetdinov N.R., Khasanshin R.R., Safin R.R., Safin R.G., Razumov E.Y.* The usage of wood wastes in the manufacture of composite materials // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. 2015. P. 779-786.
4. *Хакимзянов И.Ф., Сафина А.В.* Современные энергоэффективные решения в процессах сушки пиломатериалов // Деревообрабатывающая промышленность. 2014. № 3. С. 21-23.
5. *Сафин Р.Р.* Вакуумная сушка капиллярнопористых коллоидных материалов при конвективных способах подвода тепловой энергии. Автореф. дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук. Иваново, 2007. 36 с.
6. *Сафин Р.Р.* Вакуумная сушка пиломатериалов при конвективном теплоподводе. Монография, Казань, 2006. 123 с.
7. *Кайнов П.А., Мухаметзянов Ш.Р., Хакимзянов И.Ф.* Энергосбережение в процессе вакуумной сушки пиломатериалов // Деревообрабатывающая промышленность. 2015. № 1. С. 19-23.
8. *Галяветдинов Н.Р., Мухаметзянов Ш.Р., Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А.* Снижение энергетических затрат в процессах вакуумной сушки древесины // Деревообрабатывающая промышленность. 2015. № 2. С. 16-20.

УДК 696.41

**ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ В СИСТЕМЕ  
ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ  
EFFECTIVE TECHNOLOGY FOR LOAD REGULATION OF HOT WATER SUPPLY  
SYSTEM**

**Павел Валерьевич Ротов\*, Андрей Александрович Сивухин\*\*  
Pavel V. Rotov\*, Andrey A. Sivukhin\*\***

*\*Ульяновский государственный технический университет, Россия, Ульяновск  
\*Ulyanovsk State Technical University, Russia, Ulyanovsk  
(e-mail: p.rotov@rambler.ru)*

*\*\*Ульяновское муниципальное унитарное предприятие «Городской теплосервис»,  
Россия, Ульяновск*

*\*\*Ulyanovsk municipal unitary enterprise «City Heatservice», Russia, Ulyanovsk  
(e-mail: asivuhin@mail.ru)*

*Аннотация:* По результатам проведенного инженерного эксперимента разработан программный комплекс «Расчет общей экономии топливно-энергетических ресурсов в системе горячего водоснабжения при изменении параметров регулирования», позволяющий на основании многовариантных расчетов и анализа их результатов выбирать наиболее оптимальный режим работы системы теплоснабжения и оценивать эффективность регулирования нагрузки в системе горячего водоснабжения.

*Abstract:* On the results of the engineering experiment developed a software application "The calculation of the total economy of fuel and energy resources in the hot water supply system when you change of the parameters of regulations", which allows on the basis of multivariate calculations analyses of their results, to choose the optimum mode of operation heat supply system and to assess the effectiveness of load regulation in the hot water supply system.

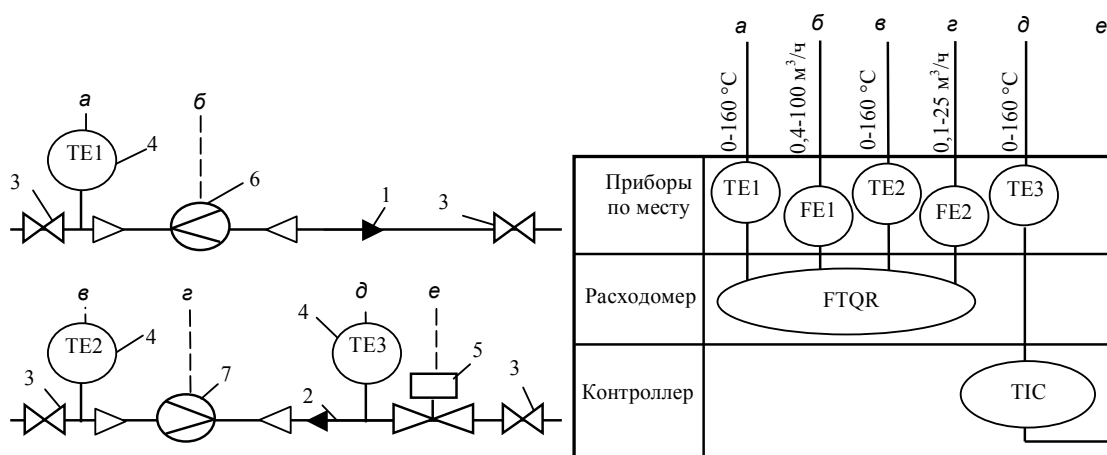
*Ключевые слова:* энергосбережение, система горячего водоснабжения, регулирование тепловой нагрузки, система автоматического регулирования, энергетическая эффективность, экономия топливно-энергетических ресурсов, граница применимости, программный комплекс.

*Keywords:* energy saving, hot water supply system, regulation of thermal loading, system of automatic control, power efficiency, economy of fuel and energy resources, limiting line of aptitude, software application.

Повысить эффективность работы системы горячего водоснабжения (ГВС) возможно путем автоматического регулирования расхода воды в циркуляционном трубопроводе с учетом неравномерности режима потребления горячей воды. Одна из таких технологий, разработанная в научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» (НИЛ ТЭСУ) Ульяновского государственного технического университета, реализуется с 2014 г. на центральном тепловом пункте (ЦТП) Ульяновского муниципального унитарного предприятия «Городской теплосервис».

В течение межотопительных периодов 2014-2016 гг. проводился инженерный эксперимент, в результате которого выполнялся сбор данных и анализ режимов работы ЦТП при различных параметрах настройки регулятора температуры, установленного на циркуляционном трубопроводе системы ГВС [1-3].

На рис. 1 представлена функциональная схема учета и регулирования параметров в системе горячего водоснабжения.



**Рис. 1. Функциональная схема автоматизации и учета параметров в системе ГВС:**

1, 2 – подающий и обратный трубопроводы ГВС; 3 – запорная арматура; 4 – датчик температуры; 5 – запорно-регулирующий клапан; 6, 7 – электромагнитные преобразователи расхода

Для проведения эксперимента были определены два основных режима работы ЦТП. В первом режиме регулирование температуры воды в циркуляционном трубопроводе не производилось. Во втором режиме настройки регулятора температуры изменялись в течении суток по графику: с 9<sup>00</sup> часов до 15<sup>00</sup> часов поддерживалась температура циркуляционной воды равная 45<sup>00</sup>°С, в остальное время температура циркуляционной воды поддерживалась равной 50 °С.

Среднечасовые значения параметров работы ЦТП в каждом из двух режимов за 2014□2016 гг. представлены в таблице 1. Экономия теплopotребления на ЦТП определялась для второго режима в сравнении с первым режимом, когда не производилось регулирование циркуляционного расхода воды в системе ГВС.

В результате анализа данных, представленных в таблице 1 установлено, что экономия тепловой энергии на ЦТП в режиме с дифференцированным по времени суток регулированием циркуляционного расхода горячей воды относительно режима без регулирования составляет 20% (0,04 Гкал/ч), при этом среднечасовой расход воды в циркуляционном трубопроводе снизился на 46,5%.

**Таблица 1. Показатели регулирования на ЦТП в 2014□2016гг.**

Среднечасовые режимные показатели	Первый режим			Второй режим		
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Потребление теплоты системой ГВС, Гкал/ч	0,212	0,22	0,17	0,18	0,19	0,15
Температура воды в подающем трубопроводе системы ГВС, °С	64,30	59,83	65,82	61,63	59,53	61,79
Температура воды в циркуляционном трубопроводе системы ГВС, °С	53,53	57,00	58,71	46,49	46,86	48,18
Расход воды в подающем трубопроводе системы ГВС, т/ч	12,76	13,05	14,79	7,74	5,73	5,58
Расход воды в циркуляционном трубопроводе системы ГВС, т/ч	11,39	11,60	13,6	6,10	3,85	4,0

Эффективной автоматизацию теплового пункта в системе централизованного теплоснабжения можно признать только тогда, когда она сокращает потребление топливно-энергетических ресурсов во всех структурных элементах системы теплоснабжения.

Выполнен расчет показателей экономической эффективности теплофикационной системы теплоснабжения при регулировании нагрузки ГВС по методике ВИШ, разработанной и апробированной в НИЛ ТЭСУ [4], с использованием результатов проведенного инженерного эксперимента.

При расчетах принималось, что система горячего водоснабжения, состоящая из 8-ми ЦТП, с суммарной расчетной тепловой нагрузкой 28,5 Гкал/ч подключена к ТЭЦ по открытой схеме. Протяженность трубопроводов системы ГВС составляет 45000 м. Продолжительность периода регулирования – 2640 ч. Конструкция трубопровода: стальная труба  $d_n = 159$  мм с толщиной стенки 6 мм в пенополимерминеральной изоляции. Стоимость тонны условного топлива принимаем равной  $C_r = 4000$  руб. Общие затраты на установку регулирующего оборудования на всех ЦТП с учетом монтажных работ составят 0,76 млн руб. [5, 6].

Показатели экономической эффективности в натуральном и денежном выражении приведены в таблице 2. Показатели, приведенные в таблице 2 со знаком «-», характеризуют перерасход топливно-энергетических и материальных ресурсов.

С целью изучения границ применимости регулирования нагрузки системы горячего водоснабжения произведем расчеты общей экономии  $\Pi_{\text{общ}}$ , млн руб. в пределах возможного понижения температуры воды в циркуляционном трубопроводе ГВС  $\Delta\tau_2 = \tau_{21} - \tau_{22}$  и возможного изменения расхода воды в системе ГВС  $\Delta G = G_{\text{св1}} - G_{\text{св2}}$ . Принимаем  $\Delta\tau_2 = 4 \div 12$  °С и  $\Delta G = 500 \div 900$  т/ч.

**Таблица 2. Показатели энергетической эффективности регулирования нагрузки в системе ГВС**

Показатели эффективности	Экономия топливно-энергетических ресурсов, $\Delta B$ , т.у.т	Стоимость $\Pi$ , млн руб.
Затраты топлива, обусловленные изменением комбинированной выработки электроэнергии на ТЭЦ	□1893,1	□7,57
Снижение расхода топлива за счет снижения теплового потребления в системе ГВС	3221,04	12,88
Экономия топлива за счет снижения затрат на транспорт воды	47,05	0,19
Экономия топлива за счет снижения теплопотерь	78,27	0,31
Капитальные затраты	-	□0,76
Сумма	1453,26	5,05

Определены аналитические зависимости для нахождения основных показателей энергетической эффективности при изменении параметров регулирования [3].

Затраты топлива, обусловленные изменением комбинированной выработки электроэнергии на ТЭЦ, определяются как

$$\Delta B_{\text{эм}} = \frac{[(G_{\text{св1}} - \Delta G)c(\tau_1 - (\tau_{21} - \Delta\tau_2)) - G_{\text{св1}}c(\tau_1 - \tau_{21})](i_0 - i_n)\eta_{\text{э}}\eta_{\text{м}}(b_{\text{э.к}} - b_{\text{э.тф}})n}{(i_n - i_k)}, \quad (1)$$

где  $G_{\text{св}i}$  – расход сетевой воды в  $i$ -том режиме регулирования, т/ч;  $\tau_1$  – температура подающей сетевой воды, °С;  $\tau_{2i}$  – температура обратной сетевой воды в  $i$ -том режиме регулирования, °С;  $i_n, i_k$  – энтальпия пара нижнего сетевого отбора и конденсирующего пара, кДж/кг;  $i_0$  – энтальпия острого пара, кДж/кг;  $\eta_{\text{э}}, \eta_{\text{м}}$  □ электрический и механический КПД турбоагрегата;  $b_{\text{э.к}}$  – удельный расход условного топлива на конденсационную выработку электрической энергии, кг/(кВт·ч);  $b_{\text{э.тф}}$  – удельный расход условного топлива на теплофикационную выработку электрической энергии, кг/(кВт·ч);  $n$  □ количество часов работы системы ГВС в режиме с регулированием параметров;  $c$  – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·°С).

Снижение расхода топлива за счет снижения теплового потребления в системе ГВС, определяемое при сопоставлении режимов регулирования:

$$\Delta B_{\text{эт}} = \frac{G_{\text{св1}} c(\tau_1 - \tau_{21}) - (G_{\text{св1}} - \Delta G) c(\tau_1 - (\tau_{21} - \Delta\tau_2)) n}{Q_{\text{н}}^p \eta_{\text{бр}}}, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{н}}^p$  – низшая теплота сгорания топлива, ккал;  $\eta_{\text{бр}}$  – КПД котла.

Экономия топлива за счет снижения затрат электрической энергии на транспорт воды:

$$\Delta B_3 = \frac{(G_{\text{св1}} - (G_{\text{св1}} - \Delta G)) \gamma H (b_{\text{э.к}} - b_{\text{э.тф}}) n}{\eta_{\text{н}}}, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – удельный вес перекачиваемой жидкости, Н/м<sup>3</sup>;  $H$  – напор насоса, м;  $\eta_{\text{н}}$  – КПД насоса.

Экономия топлива за счет снижения величины тепловых потерь:

$$\Delta B_3 = \frac{2\pi(\tau_1 - (\tau_{21} - \Delta\tau_2)) n l}{\left(\frac{1}{\lambda_{\text{из}}} \ln \frac{d_{\text{из}}}{d_{\text{н}}} + \lambda_{\text{ст}} \ln \frac{d_{\text{н}}}{d_{\text{вн}}}\right) Q_{\text{н}}^p \eta_{\text{бр}}}, \quad (4)$$

где  $l$  – протяженность трубопровода,  $\lambda_{\text{ст}}$  – коэффициент теплопроводности стали, Вт/(м°С);  $\lambda_{\text{из}}$  – коэффициент теплопроводности тепловой изоляции, Вт/(м°С);  $d_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр трубопровода, м;  $d_{\text{н}}$  – наружный диаметр трубопровода, м.

Результаты расчетов по уравнениям (1)-(4) приведены в таблице 3.

С понижением температуры воды в циркуляционном трубопроводе системы ГВС экономия топливно-энергетических ресурсов снижается, что объясняется снижением комбинированной выработки электроэнергии. При  $\Delta G = 600$  т/ч общая экономия топливно-энергетических ресурсов  $\Pi_{\text{общ}}$  снижается более чем в 16 раз при понижении температуры воды в циркуляционном трубопроводе системы ГВС на 12 °С.

**Таблица 3. Общая экономия топливно-энергетических ресурсов**

$\Delta G$ , т/ч	Общая экономия, $\Pi_{\text{общ}}$ , млн руб.				
	при $\Delta\tau_2=4$ °С	при $\Delta\tau_2=6$ °С	при $\Delta\tau_2=8$ °С	при $\Delta\tau_2=10$ °С	при $\Delta\tau_2=12$ °С
500	3,81	2,33	0,85	-0,62	-2,10
600	5,62	4,30	2,98	1,66	0,34
697,5	7,39	6,22	5,05	3,88	2,71
800	9,25	8,24	7,23	6,22	5,21
900	11,07	10,21	9,36	8,50	7,65

В целях повышения скорости и точности расчетов, а также возможности использования различных исходных данных для расчета показателей эффективности регулирования в пределах возможного диапазона изменения параметров работы системы ГВС, разработан программный комплекс «Расчет общей экономии топливно-энергетических ресурсов в системе ГВС при изменении параметров регулирования». Программа относится к области теплотехники и может применяться для расчета общей экономии топливно-энергетических ресурсов в системе теплоснабжения при изменении параметров регулирования расхода в циркуляционном трубопроводе ГВС, для анализа и оптимизации режимов работы системы теплоснабжения, для оценки потенциала энергосбережения при реализации технологий регулирования параметров в системе ГВС.

Программа реализована в среде Visual Studio 2015, на языке программирования C#. На рис.2 представлено окно интерфейса программы.

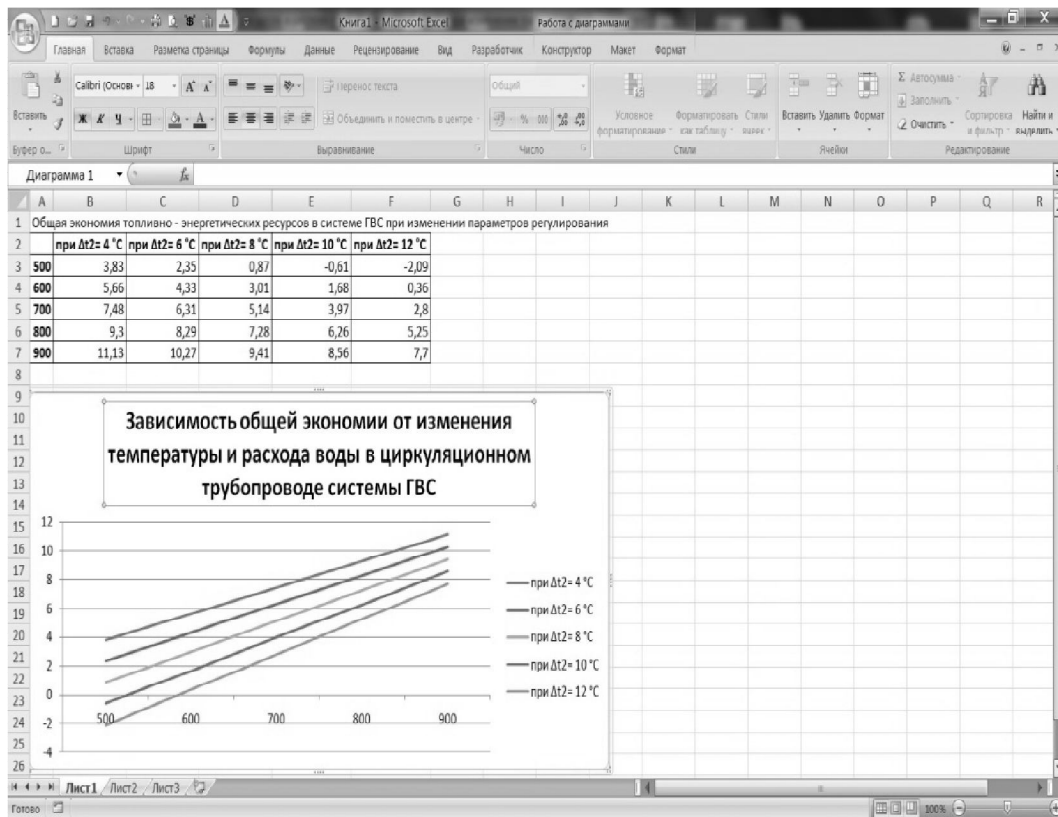


Расчет общей экономии топливно-энергетических ресурсов в системе горячего водоснабжения при изменении параметров регул...

**Характеристика системы теплоснабжения:**

Протяженность трубопроводов системы ГВС, м	45000
Продолжительность периода регулирования, ч	2640
Внутренний диаметр трубопровода, м	0,147
Наружный диаметр трубопровода, м	0,159
Наружный диаметр трубопровода со слоем тепловой изоляции, м	0,253
Напор насоса, м	30
Температура сетевой воды в подающем трубопроводе, С	74
Температура сетевой воды в циркуляционном трубопроводе в режиме без регулирования, С	55
Изменение температуры сетевой воды в циркуляционном трубопроводе в режиме регулирования относительно режима без регулирования, С	12
Расход воды в системе ГВС в режиме без регулирования, т/ч	1500
Изменение расхода воды в системе ГВС в режиме регулирования относительно режима без регулирования, т/ч	900
Температура недогрева в сетевом подогревателе, С	10
Давление острого пара, МПа	13
Температура острого пара, С	560
Стоимость тонны условного топлива, руб	4000
Капитальные затраты на оборудование ЦТП приборами автоматического регулирования, руб	760000

**Рис. 2. Окно интерфейса программы «Расчет общей экономии топливно-энергетических ресурсов в системе ГВС при изменении параметров регулирования» с полем для внесения исходных данных**



**Рис. 3. Окно Microsoft Office Excel с результатами расчетов программного комплекса**

Количество расчетов в программе неограниченно, что позволяет сравнивать режимы работы системы теплоснабжения при различных условиях работы системы горячего водоснабжения. Программа позволяет производить многовариантные расчеты и сохранять результаты расчетов в файле Microsoft Office Excel (рис. 3) на стадии проектирования систем горячего водоснабжения, при энергетическом обследовании и определении целесообразности внедрения рассмотренной технологии регулирования нагрузки ГВС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ротов П.В., Сивухин А.А., Ротова М.А. О регулировании нагрузки горячего водоснабжения в открытых системах теплоснабжения // Энергосбережение и водоподготовка. 2015. № 3(95). С. 32.
2. Ротов П.В., Шарапов В.И., Сивухин А.А. Повышение эффективности работы систем горячего водоснабжения // сборник научных трудов научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» УлГТУ. Выпуск 11. Ульяновск, УлГТУ, 2015. С. 110.
3. Ротов П.В., Сивухин А.А. Оценка эффективности технологий регулирования нагрузки горячего водоснабжения // Энергосбережение и водоподготовка. 2016. № 6(104). С. 22.
4. Шарапов В.И., Пазушкин П.Б., Цюра Д.В., Макарова Е.В. Расчет энергетической эффективности технологий подготовки воды на ТЭЦ: учебное пособие // Ульяновск, УлГТУ. 2003. 120 с.
5. Клапаны регулирующие // Дата обращения: 03.02.2016. <http://saz-avangard.ru/catalog/klapany-reg/>.
6. Овен. Оборудование для автоматизации // Дата обращения: 03.02.2016. [http://www.owen.ru/catalog/programmruemij\\_logicheskij\\_kontroller\\_oven\\_plk160/81745846](http://www.owen.ru/catalog/programmruemij_logicheskij_kontroller_oven_plk160/81745846).

УДК 666.94

#### **ИЗНОШЕННЫЕ ПОКРЫШКИ КАК ВТОРИЧНЫЙ ЭНЕРГОРЕСУРС В ЦЕМЕНТНЫХ ПЕЧАХ WEARED TIRES AS A SECONDARY ENERGY RESOURCE IN CEMENT KILNS**

**Елена Юрьевна Александрова, Ирина Витальевна Петрушина,  
Евгений Олегович Лебединский  
Elena Yu. Aleksandrova, Irina V. Petrushina, Eugene O. Lebedinsky**

*Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва  
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»  
(e-mail: Lenea-1616@yandex.ru; Irishka950210@yandex.ru; evg1212@rambler.ru)*

*Аннотация:* Рассмотрена проблема утилизации отработанных автопокрышек и способ решения этой проблемы путём использования автопокрышек в качестве части топлива в цементных печах. Был произведён расчёт материальных балансов горения топлива и тепловых балансов вращающейся печи для производства цемента.

*Abstract:* The problem of used tires utilization and the way to solve this problem by using tires as a part of cement kiln fuel are researched. The calculation of material balances of fuel combustion and thermal balances of rotary kiln for cement production was carried out.

*Ключевые слова:* утилизация покрышек, цементная печь, высокотемпературное обезвреживание.

*Keywords:* recycling of tires, cement kiln, high temperature neutralization.

Проблема загрязнения окружающей среды разнообразными веществами в настоящее время приобретает глобальный характер. На сегодняшний день одной из основных задач, актуальных во всём мире, является переработка и утилизация коммунальных и промышленных отходов, в том числе автомобильных покрышек.

Накопление и несвоевременный вывоз отходов создает экологическую опасность для населения из-за содержания в них большого количества органических веществ, которые при разложении образуют вредные химические вещества.

Общемировые запасы изношенных автошин оцениваются примерно в 100 миллионов тонн при ежегодном приросте не менее 7 миллионов тонн. В таблице 1 представлен годовой объём образования отработанных шин в мире.

**Таблица 1. Годовой объём образования отработанных покрышек в мире**

Страна	Объём образования покрышек, тыс. тонн
Россия	1 000
США	4 000
Япония	1 126
Китай	750
Германия	667
Индия	506
Швейцария	487

В работе рассмотрена проблема утилизации отработанных автомобильных покрышек и способ решения этой проблемы путём использования покрышек в качестве замены части топлива во вращающейся цементной печи [1,2].

В эксплуатируемых в настоящее время мусоросжигательных печах температура сжигания отходов составляет не более 850-950°C. После сжигания отходов остаются зола и шлак, требующие специального дополнительного обезвреживания. В связи с ужесточением нормативных показателей, связанных с выбросами, в настоящее время обсуждается вопрос о необходимости увеличения температуры процесса термического обезвреживания. В связи с этим альтернативным способом термической утилизации отходов становится способ утилизации промышленных и коммунальных отходов в цементных печах, использование которых даёт массу преимуществ:

- высокая температура материала (до 1450°C) и газовой среды (до 2000°C);
- время пребывания газов в горячей зоне при температуре выше 1200 °C составляет не менее 7 секунд;
- присутствующие в отходах тяжелые металлы нейтрализуются, так как в процессе получения клинкера участвует большое количество извести;
- процесс производства клинкера в печи в большинстве случаев является безотходным, так как вся уловленная пыль из цементной печи возвращается в технологический процесс.

Практически все действующие сегодня цементные предприятия России испытывают трудности из-за постоянно растущих цен на энергоносители, затраты на которые в Российской Федерации составляют 50-57% от себестоимости конечного продукта. Одним из мероприятий, позволяющих снизить затраты на энергоносители, может стать частичная замена традиционного топлива альтернативным.

Химический состав, а, следовательно, горючие свойства шин, отличаются от основных видов топлив, используемых в цементных печах. В таблице 2 приведены данные по типичным составам шин.

Таблица 2. Состав шин

Тип корда	$Q_H^P$ , МДж/кг	$W^P$	$A^P$	$S^P$	$C^P$	$H^P$	$N^P$	$O^P$	Легучие
Fibreglass	32,47	0,00	11,70	1,29	75,80	6,62	0,2	4,39	-
Steel-belted	26,67	0,00	25,20 (включая сталь)	0,91	64,20	5,00	0,1	4,40	-
Nylon	34,64	0,00	7,20	1,51	78,90	6,97	<0,1	5,42	-
Polyester	34,28	0,00	6,50	1,20	83,50	7,08	<0,1	1,72	-
Kevlar-belted	39,20	0,00	2,50	1,49	86,55	7,35	<0,1	2,11	-

Химический состав шин при использовании их в качестве топлива будет влиять на:

- эффективность выгорания покрышек;
- температурный профиль в печи;
- содержание тяжёлых металлов в клинкере;
- эмиссию газов и макрочастиц.

Кроме того, комбинированные цинкосодержащие соединения в шинах могут влиять на качество цемента, в частности, высокое содержание цинка влияет на время затвердевания цемента.

Поскольку содержащиеся в автопокрышках компоненты, так или иначе, входят в состав цемента, то использование автопокрышек в качестве замены части топлива представляется оптимальным.

В работе были произведены расчёты материальных балансов горения топлива и отходов и тепловых балансов вращающейся печи для производства цемента [3]. В результате расчёта совместного теплового баланса сжигания автомобильных покрышек и природного газа выявлена зависимость расхода природного газа от доли изношенных покрышек в топливе.

Замена части органического топлива отработанными покрышками дала следующие результаты:

- экономия природного газа;
- нет необходимости строить специальную установку для утилизации отработанных автопокрышек;
- утилизация отработанных автопокрышек и уменьшение количества загрязняющих окружающую среду веществ.

Полностью заменить природный газ на отработанные покрышки нельзя, так как качество клинкера не должно снижаться. В результате расчётов оптимальная доля покрышек в топливе составила около 41 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лисиенко В.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология. Кн. 2. М.: Теплотехник, 2004. 688 с.
2. Холин И.И. Справочник по производству цемента. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. 852 с.
3. Кузнецов Н.В. Тепловой расчёт котельных агрегатов (Нормативный метод) М.: Энергия, 1973. 296 с.

УДК 504.064

**БИОПОЛИМЕРНЫЙ ХЕМОСОРБИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ  
BIOPOLYMER CHEMOSORBING MATERIAL**

**Людмила Викторовна Моисеева, Станислав Антонович Иванов,  
Галина Федоровна Есина, Ирина Николаевна Бычкова  
Ludmila V. Moiseeva, Stanislav A. Ivanov, Galina F. Esina, Irina N. Bychkova**

*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:* Рассмотрен способ получения биополимерного хемосорбирующего фильтровального материала. Показана возможность двухступенчатого использования предложенного материала, основанная на изменении его селективности. Приведена принципиальная схема процесса фильтрации, совмещенного со структурированием фильтрующего материала.

*Abstract:* The article considers the method of obtaining biopolymer chemisorption filter material. Shown ability of two-stages of using this material, based on changes it's selectivity. Provides a schematic diagram of filter process combined with, structuring of the filter material.

*Ключевые слова:* продукты модификации коллагена, хемосорбирующий материал, очистка спиртовых систем от альдегидов.

*Keywords:* products of collagen modification, chemisorbing material, purification of alcohol systems from aldehydes.

Важнейшим процессом большинства химических технологий очистки техногенных выбросов и сбросов является сорбция, объединяющая процессы, протекающие на поверхности. Разнообразие веществ и состояния взаимодействующих поверхностей определяют особенности сорбционных процессов. Обостряющиеся экологические проблемы в техносфере требуют все более эффективных методов очистки, в частности, за счет совершенствования процессов сорбции и использования новых сорбирующих материалов с селективной способностью.

К новому направлению исследований можно отнести разработки сорбционно-активных фильтровальных материалов – волокнистых хемосорбентов, высокие кинетические показатели сорбции и разнообразие форм применения которых, являются основой для создания эффективных процессов в сорбционной технологии. Сорбенты на основе волокон является одними из самых эффективных фильтрующих компонентов, который применяется для очистки газовых и жидких сред.

Создание искусственных и синтетических волокнисто-пористых материалов с заданными свойствами на базе восполняемого природного сырья является актуальной задачей современного периода развития прикладных наук.

Среди многочисленных фильтрующих материалов, которые могут использоваться в различных изделиях, связанных с экологической безопасностью, на одно из главных мест по потреблению, вышли тонко-волокнистые материалы. Традиционно вопросы создания волокнисто-пористых материалов решаются путем совмещения волокнистых и полимерных материалов. В основе физико-химических представлений о строении волокнистых композиций лежат три элемента: волокно, полимерная матрица и граница раздела между ними.

Волокнистые сорбенты обладают более высокой кинетикой сорбцией за счет более высокой удельной поверхности и большей доступности функциональных групп. Кроме того,

волокнистые сорбенты обладают большими показателями по регенеративной способности возможность повторного применения

Наполнитель в форме волокна в большинстве случаев определяет прочность и модуль упругости композиционных материалов и обеспечивает стойкость материалов к деформированию и разрушению под действием механических сил.

Для создания нетканых фильтров широко используют ультратонкие волокна, полученные на базе высокомолекулярных соединений. Предусмотрены специальные методы получения ультратонкого волокна, выполняющего роль активного наполнителя.

Широкие возможности для получения волокнистых фильтрующих материалов с заданными свойствами может дать использование производных коллагена - природного биополимера животного происхождения. Значительное количество коллагенсодержащих отходов кожевенного производства является ценным вторичным сырьем. Коллаген имеет уникальную многоуровневую структурную организацию и целенаправленная деградация этой структуры позволяет получать белковые фрагменты, отвечающие всем уровням организации: свободные аминокислоты, фрагменты молекул, способные к фибриллообразованию, и ультратонкие волокна. Методы получения указанных препаратов на сегодняшний день широко известны, что позволяет обойти описание способов их получения [1].

Одним из путей решения указанной задачи является использование твердых белоксодержащих отходов кожевенного производства. Образующиеся на разных стадиях технологического цикла коллагенсодержащие отходы, сохранившие волокнистую макроструктуру, подвергают специальной механической (разволокнение) или химической (частичная деградация) модификации, что позволяет получить необходимые компоненты волокнистых композиций: и волокна, и биополимерную матрицу.

Технологические возможности полученных биополимерных композиционных материалов на основе продуктов растворения коллагена далеко не исчерпаны. Различные способы модификации продуктов направленной деградации нерастворимого белка – коллагена открывает широкие перспективы создания уникальных композиционных материалов с широким спектром свойств [2].

Рациональное использование коллагенсодержащих отходов сопряжено с основной трудностью - нерастворимой многоуровневой надмолекулярной структурой коллагена. Сегодня известны методы принудительного растворения коллагена, позволяющие получить дисперсные системы (ПРК), обладающие пленко- и волокнообразующей способностью. Указанные дисперсии обладают высоким значением вязкости при низком содержании белка по массе. Концентрация белка в коллагеновых дисперсиях составляет 2,2-4,0 г/100мл, а при концентрации выше 4 г / 100 мл дисперсия обладает незначительной текучестью и проявляет ярко выраженные признаки структурной вязкости, что ограничивает возможность перемешивания и гомогенизации систем.

В качестве объектов исследования в работе используют биополимерную композицию на основе коллагенсодержащего сырья, полученную по методике, разработанной в РГУ им. А. Н. Косыгина (МГУДТ). В состав композиции входят: дисперсия коллагена в растворе уксусной кислоты (называемая ПРК – продукты растворения коллагена) и гольевой порошок, получаемый из недубленых коллагенсодержащих отходов (спилок, гольевая обрезь) и специальные добавки.

ПРК представляет собой полидисперсную систему в 1М растворе уксусной кислоты с содержанием сухого остатка 2,8%, содержащую агрегаты коллагеновых частиц, трехспиральные молекулы коллагена с молекулярной массой более 200 тыс.ед., способные к волокнообразованию; полипептидные цепи и их фрагменты с молекулярной массой не менее 100 тыс.ед., еще способные к пленкообразованию, а также компоненты с молекулярной массой 40 тыс.ед. и менее, обладающие клеющей способностью. ПРК выполняет роль связующего или биополимерной матрицы, а гольевой порошок - препарат, сохранивший волокнистую надмолекулярную структуру коллагена, роль активного наполнителя.

Предлагаемая композиция лежит в основе получения волокнисто-пористого материала. Известные способы получения волокнисто-пористого материала на основе коллагенсодержащих препаратов предусматривают дополнительную обработку композиции структурирующими реагентами, например, альдегидами, в результате которой протекает процесс структурирования компонентов композиции. Потребность в структурирующем реагенте сыграла ключевую роль в выборе направления исследования.

В качестве объекта исследования использовали спирт-сырец, получаемый путем брожения углеводного сырья – зерна. В процессе брожения (каталитического окисления) образуется огромное количество органических кислородсодержащих соединений: спирты, альдегиды, кислоты, различные эфиры и пр. Процесс разделения этой смеси очень труден. Помимо ректификации используют дополнительную очистку с помощью фильтров.

В настоящее время используют в основном угольные фильтры.

В процессе угольной обработки в водке образуются различные компоненты и химические соединения, влияющие на её вкусовые качества. Ниже приведена схема протекающих процессов окисления:

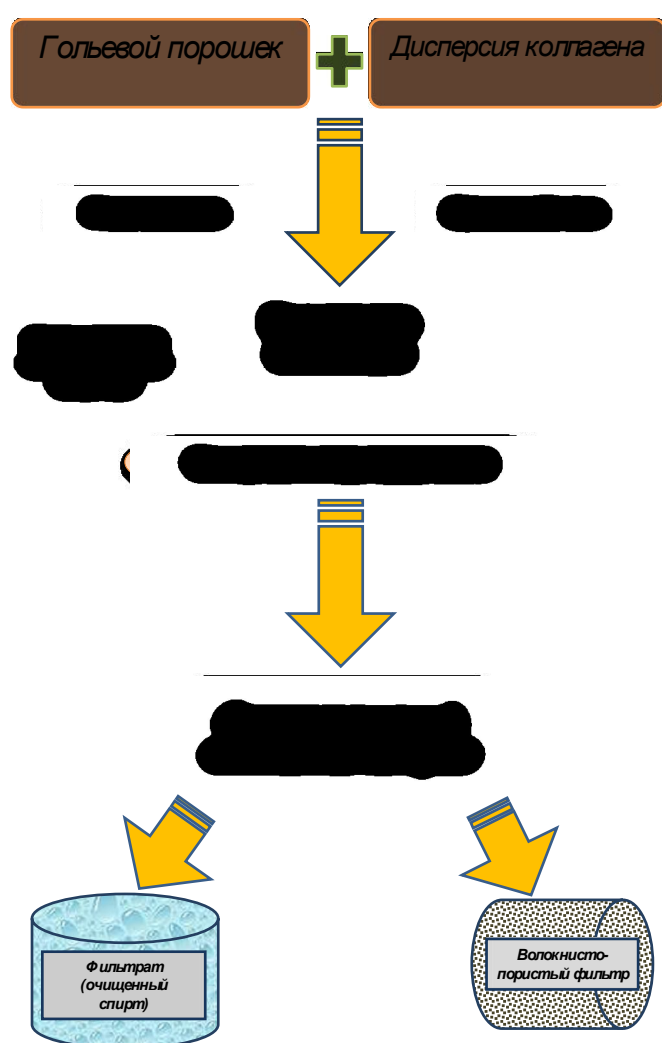
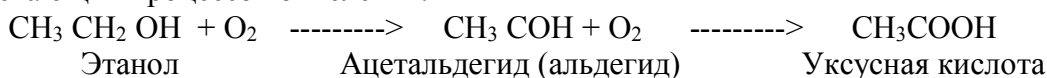


Рис. 1.

Скорость реакции окисления на первой стадии (этанола до ацетальдегида) протекает со значительно большей скоростью, чем окисление ацетальдегида до кислоты, поэтому при снижении скорости или при остановке фильтрации образуется избыток ацетальдегида, который, в отличие от уксусной кислоты, не сорбируется углем и переходит в продукт. Ацетальдегид имеет резкий запах и вкус, являясь вредной примесью в спиртах, поэтому содержание альдегида регламентировано. Исходя из сказанного, проблема очистки спирта от примесей альдегида является очень важной.

В результате совместной научно-исследовательской работы, проведенной на кафедрах Органической химии, Химической технологии и промышленной экологии и Технологии кожи и меха были разработаны методики, включающие переработку коллагенсодержащих отходов кожевенного производства, получение на их основе волокнистых модифицированных композиций со специфическими хемосорбирующими свойствами.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема получения и использования волокнистого коллагенсодержащего препарата в качестве хемосорбирующего фильтра.

На первой стадии получают волокнистую композицию, которую используют для очистки водно-спиртовой смеси от альдегидов, хемосорбция альдегидов на белковых фрагментах композиции приводит к их к структурированию. Отработанная на первой стадии композиция представляет собой волокнисто-пористый материал, который можно использовать для сорбции различных веществ.

Предложенные разработки позволяют совместить процессы переработки коллагенсодержащих отходов кожевенного производства и очистки альдегидсодержащих спиртовых растворов, образующийся при этом структурированный альдегидами волокнисто-пористый материал является эффективным сорбентом, то есть «вторичным» фильтром и может быть, в свою очередь, использован для глубокого обезвоживания органических жидкостей [3], специфической хемосорбции ионов металлов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Е.А., Моисеева Л.В. Использование коллагенсодержащих отходов кожевенного производства для получения композиционных материалов// Дизайн и технологии. 2013. №34 . С. 5.
2. Линева В.С., Бычкова И.Н., Илькович Ю.В., Есина Г.Ф., Моисеева Л.В Патент на изобретение РФ № 2492195 Композиция для колористической отделки волосяного покрова, опубл. 10.09.13, Бюл. № 25.
3. Моисеева Л.В., Сухарев А.В. Глубокое обезвоживание жидких углеводов с использованием гидрофильных композиций, полученных из отходов кожевенного производства //Сб. докладов Первые международные Лыковские чтения МЛНЧ-2015, М. 2015, с. 433-435

УДК 504.064.

### ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ КОЖЕВЕННО-ОБУВНОГО ПРОИЗВОДСТВА RECYCLING OF SOLID WASTES OF LEATHER-SHOE MANUFACTURE

**Антонина Александровна Захарова, Валентина Сергеевна Салтыкова,  
Людмила Викторовна Моисеева, Михаил Владимирович Токарев  
Antonina A. Zaharova Valentina S. Saltykova, Ludmila V. Moiseeva,**

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

*Аннотация:* Рассмотрен способ использования твердых отходов кожевенно-обувной отрасли в качестве вторичного сырья для производства волокнисто-пористого материала. Приведена характеристика нового материала и предложены пути его использования.

*Abstract:* Considered method of using leather- shoe industry's solid wastes such as raw-stuff for making fibrous-porous material. Given characteristic of new material and proposed the ways of using it.

*Ключевые слова:* измельчение твердых кожевенных отходов, продукты модификации коллагена.

*Keywords:* crushing of hard leather waste, products of collagen modification.

Проблема рационального использования восполняемых природных ресурсов является актуальной как для экономики, так и для экологии. Ярким примером такой проблемы может служить кожевенно-обувное производство. Современные технологии допускают потери сырья при производстве кожи до 50% массы, а в производстве обуви до 30% полезной площади кожи. Большой объем уникального природного биополимера коллагена переходит в



отходы, отправляясь на свалки, и является потерей для экономики, создает экологические проблемы.

Перспективным является способ рационального использования кожевенных отходов для получения волокнисто-пористых материалов, основу которых составляет биополимер коллаген и продукты его модификации.

На кафедре «Промышленной экологии и безопасности» РГУ им. А. Н. Косыгина разработана методика получения композиционного волокнисто-пористого материала на основе коллагенсодержащих отходов кожевенного производства и отходов кож хромового дубления обувного производства [1,2].

Так как коллаген является нерастворимым белком со сложной многоуровневой структурной организацией, то для дальнейшего эффективного использования его подвергают принудительному растворению в щелоче-солевых, а затем в кислотнo-солевых растворах. Различные режимы обработки позволяют получать полидисперсную систему, в которой коллаген представлен в виде фрагментов различного строения и молекулярной массы (м.м.): линейные олигопептиды с м.м. до 40 тыс ед, обладающие клеящей способностью, полипептидные цепи с м.м. до 100-150 тыс. ед., способные к пленкообразованию, и агрегаты, сохранившие надмолекулярный структурный уровень организации коллагена, с м.м. до 200-220 тыс ед., которые, собственно, и обеспечивают уникальные свойства этого белка, способность к волокнообразованию.

Твердые отходы обувного производства также подвергают предварительной обработке, которая включает измельчение в воздушно сухом состоянии кожевенных отходов до размеров волокон 0,7-0,9 мм. Измельчение твердых кожевенных отходов в воздушно-сухом состоянии сопряжено с трудностями. Процесс сопровождается разогревом и приводит к термодеструкции белка, что снижает качество «кожевенного порошка» и эффективность процесса в целом.

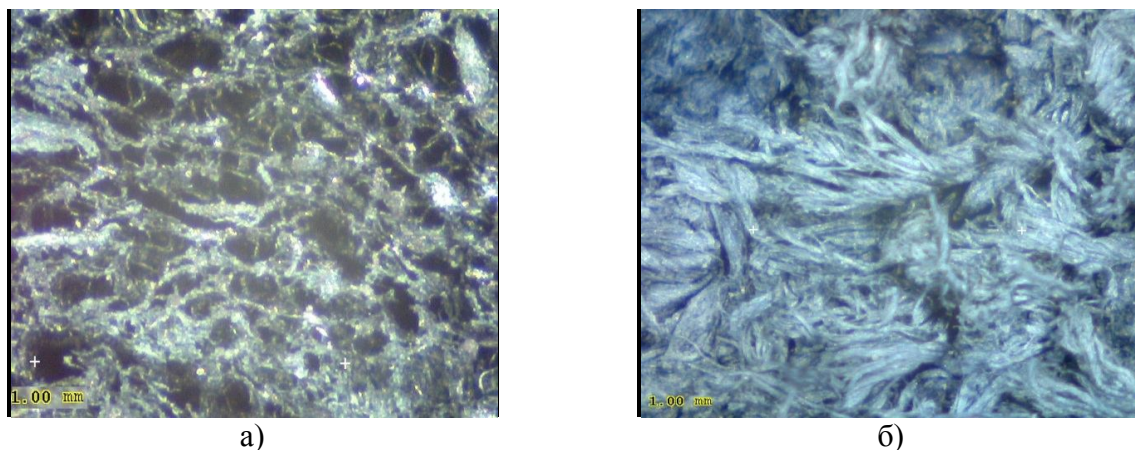
На кафедре «Промышленной экологии и безопасности» РГУ им. А. Н. Косыгина разработаны параметры получения кожевенного порошка из отходов обувного производства и предложена методика получения композиционного волокнисто-пористого материала на основе коллагенсодержащих отходов кожевенного производства и отходов кож хромового дубления обувного производства [3].

На основе композиции, включающей модифицированные отходы кожевенного производства – дисперсию коллагена в количестве 15-30% , кожевенный порошок из отходов обувного производства 70-85%, целевые добавки, с использованием сублимационной сушки, получен волокнисто-пористый материал.

Материал представляет собой кожеподобную пористую волокнистую структуру, уступая коже в механической прочности, обладает хорошими сорбционными свойствами. Наличие ячеистых фрагментов структуры, позволяет предполагать способность материала к относительно высокому тепло- и звукопоглощению .

Для определения показателей физико-механических свойств полученного материала использовали известные методики [3], определение удельной поверхности и пористости проводили на анализаторе GEMINI-VII, в котором используется статический волюмометрический метод анализа с адаптированной скоростью. Измерение площади поверхности и размера пор основано на адсорбции газообразного азота поверхностью твердого тела при температуре жидкого азота. Акустические свойства исследуемого материала определяли по методике [4], измерительное устройство включает измерительный микрофон с чувствительным элементом, помещенный в замкнутую звукоизолирующую оболочку, содержащую открытое измерительное окно, в которое помещают исследуемый образец. Теплопроводность материала определяли в стационарном режиме методом неограниченного плоского слоя (методом плиты) по методике [5].

На рисунке 1 представлена структура биополимерно композиционного материала (а) и натуральной кожи (б), в таблице 1 приведены некоторые показатели, характеризующие физико-механические свойства материала.



**Рис.1** Микроструктура биополимерного композиционного материала (а) и натуральной кожи хромового дубления (б)

Микроструктура материала, полученного на основе модифицированных коллагенсодержащих отходов кожевенного и обувного производства носит, в основном, ячеистый характер с проступающими волокнистыми фрагментами. В отличие от структуры натуральной кожи, представленной переплетающимися волокнистыми образованиями, биополимерный композиционный материал имеет меньшее количество сквозных пор и меньшую удельную поверхность, что отразилось на результатах сравнительных исследований акустических свойств образцов. Для более глубокого анализа структуры и ее свойств необходимо использование комплекса независимых методов исследования.

В таблице 1 приведены некоторые показатели свойств биополимерного композиционного материала, дающие представление о его свойствах.

**Таблица 1. Некоторые показатели свойств биополимерного композиционного материала**

Свойства материала	Показатели
Предел прочности при разрыве, МПа	0,9- 1,3
Относительное удлинение, %	4-8
Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	0,23 - 0,24
Теплопроводность, Вт/мК	0,05 – 0,07
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	3,0 - 4,5
Удельная поверхность микропор(закрытых), м <sup>2</sup> /г	1,0 - 1,7

Установленные на данном этапе исследования особенности структуры материала позволяют сформулировать направление дальнейших исследований и разработать рекомендации по использованию данного материала

Проведенные исследования позволили разработать рекомендации по рациональному использованию коллагенсодержащих отходов кожевенно–обувного производства. На базе вторичных сырьевых ресурсов получен новый искусственный материал с комплексом показателей, способных обеспечить различные потребительские свойства и быть востребованным в различных отраслях промышленности и потребления

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондауров Б.П., Папин А.В. Коллагенсодержащая композици. Патент на изобретение РФ № 2410242 // Б.И. №3, 2011 г.
2. Папин А.В., Кондауров Б.П. Эффективная технология получения волокнисто-пористого материала из отходов кож хромового дубления. М.: Экология и промышленность России. - 2011. - № 7. – С.17-19.

3. Кондауров Б.П. Разработка технологии получения волокнисто-пористого материала из отходов кож хромового дубления обувного производства [Текст] / Кондауров Б.П., Рябинкин С.И., Папин А.В., Иглин Н.П // Дизайн и технологии. – 2009. - № 12(54). – С. 69-73.

4. Фесина М.И., Малкин И.В. Устройство для измерения звукового излучения. Патент РФ на полезную модель № 40827, опуб. Б. № 27, 2004 г

5. Бахшиева Л.Т., Салтыкова В.С., Захарова А.А., Папин А.В., Кондауров Б.П., Александров В.И. Тепловые и массообменные свойства материалов легкой промышленности- М.: ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2015-140с.

УДК 620.9

## **ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА RENEWABLE ENERGY OF THE CRIMEAN PENINSULA**

**Ирина Витальевна Петрушина, Елена Юрьевна Александрова,  
Евгений Олегович Лебединский  
Irina V. Petrushina, Elena Yu. Aleksandrova, Eugene O. Lebedinsky**

*Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва  
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»  
(e-mail: Irishka950210@yandex.ru, Lenea-1616@yandex.ru, evg1212@rambler.ru)*

*Аннотация:* Проведена исследовательская работа, направленная на анализ потенциала энергетических ресурсов Крымского полуострова. Подробно рассмотрены существующие источники энергии. Рассмотрена возможность применения возобновляемых источников энергии.

*Abstract:* Research work has been carried out to analyze the potential of the energy resources of the Crimean peninsula. Existing sources of energy are considered in detail. The possibility of using renewable energy sources is considered.

*Ключевые слова:* возобновляемая энергетика, энергия солнца, энергия ветра.

*Keywords:* renewable energy, solar energy, wind energy.

С марта 2014 года Крымский полуостров вошел в состав Российской Федерации, и решение проблемы его энергообеспечения стало актуально для нашей страны. На момент присоединения Крыма генерируемая мощность полуострова составляла только 20% от потребляемой, остальные мощности передавались с Украины. Таким образом, необходимо было создать источники энергии, способные повысить собственную генерацию энергии.

Постановление совета министров республики Крым от 9 апреля 2015 года №186 утверждена государственная программа «Развитие топливно-энергетического комплекса Республики Крым на 2015-2017 годы».

Основными ожидаемыми результатами программы должны стать:

- повышение надёжности электроснабжения потребителей Крымского полуострова;
- обеспечение выдачи мощности от Симферопольской тепловой электрической станции (63 МВт) и мощности, переданной по энергомосту из Краснодарского края; увеличение протяжённости магистральных линий электропередачи 220 кВ на 4,52%;
- увеличение установленной мощности средств компенсации реактивной мощности на подстанциях 330–220 кВ на 33,79%.

Сроки и этапы реализации Программы – 3 года (с 2015 по 2017 годы) [1].

Крым, имея 240-260 солнечных дней в году и значительные площади, пригодные для размещения ветровых установок, обладает большим потенциалом для использования возобновляемых источников энергии, и это нужно использовать. Так, например, в 2011-2012 годах австрийская компания Activ Solar установила 4 солнечных электростанции в Крыму,

одна из этих станций («Перово» общей мощностью 105,56 МВт, расположенная возле села Ключи) стала самой большой солнечной электростанцией в России. Этот пример подтверждает возможность и целесообразность использования возобновляемых источников в Крыму.

На сегодняшний день полуостров обладает следующими собственными источниками энергии, приведенными в таблице 1.

**Таблица 1. Мощность теплоэлектростанций (ТЭЦ) и солнечных электростанций (СЭС) Крыма**

ТЭЦ	Мощность, МВт	СЭС	Мощность, МВт
Симферопольская	68	Родниковская	7,5
Камыш-Бурунская	30	Митяевская	32
Севастопольская	33	Охотниковская	82
Сакская	12	Перовская	106
Суммарная	143	Суммарная	227,5

Помимо собственно генерируемых мощностей, энергия также поступает по энергомоству «Кубань - Крым», передаваемая мощность составляет 800 МВт. В проекте строительства находятся Севастопольская и Симферопольская ТЭС, запланированная мощность 940 МВт, срок сдачи первой очереди в 2017 году, второй – в 2018 году.

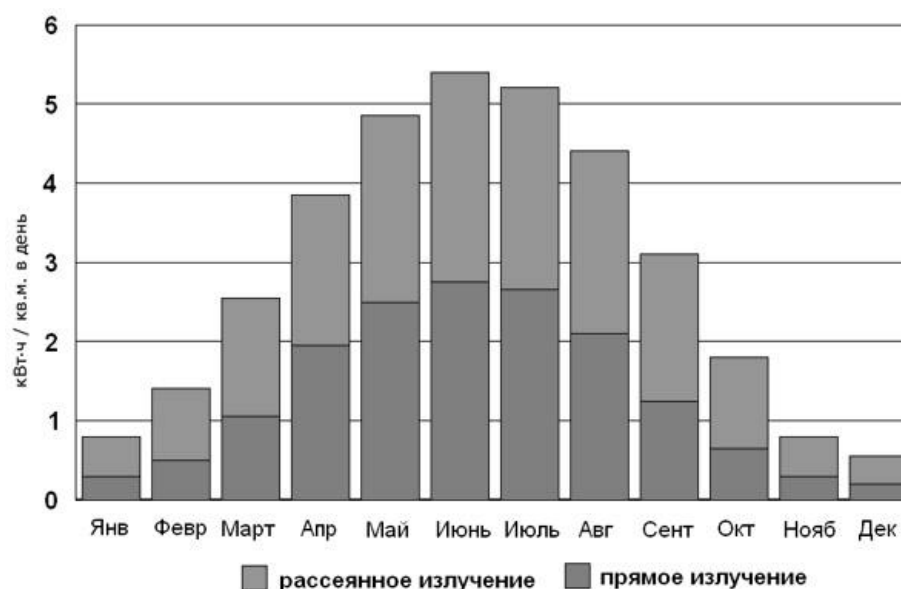
По данным Единой Энергетической Системы России собственные максимумы потребления мощности Крымской энергосистемы на 2015 год составил 1 309 МВт, а на 2016 год 1 335 МВт [2]. Таким образом, располагаемая энергия с учетом энергомоства составляет 1170 МВт, что на 87,6 % покрывает максимальное потребление 2016 года.

На сегодняшний день Крымская республика начала свое активное развитие после долгого застоя, как активная курортная зона, так и развивающаяся республика. К 2018 году планируется построить новый терминал аэропорта Симферополь, к 2019 - 2020 гг. создание гражданского сектора аэропорта Бельбек, а также в стадии строительства находятся железнодорожные подходы к Керченскому мосту (2019 год), железные и автодороги Керченский мостовой переход (2018 год), автоподходы к Керченскому мосту (2018 год), автотрасса "Таврида" (Керчь—Симферополь—Севастополь) [3].

Важно понимать, что необходимы надежные источники энергии, способные не только покрыть минимум, необходимый для проживания, но и дать возможность дальнейшего развития. При этом, к примеру, для Красногвардейского района основная промышленность – пищевая, активно развивается сельское хозяйство. Району необходима энергия для развития, но важно учитывать экологический фактор – нельзя наносить ущерб сельскому хозяйству, т.к. это важная составляющая деятельности всего района.

Установка солнечной электростанции и ветряков стали бы отличным решением данной проблемы. Распределение солнечной интенсивности за 2015 год для Крыма представлено на рисунке 1. По оценке SolarSoul (информационный ресурс о применении солнечной энергии и энергосбережении), среднегодовое значение солнечной инсоляции в Крыму составляет 1350 кВт\*ч/кв.м\*год [4].

При установке солнечных батарей типа NH-POLY-280W на 1,13% территории Красногвардейского района (участок площадью 20 км<sup>2</sup>), среднегодовая выработка электроэнергии составит 1175 кВт\*ч/сутки, а максимальная выработка в июле 1675 кВт\*ч/сутки. Средний КПД таких батарей 15-17%. Компания Sharp в 2013 году успешно испытала солнечные батареи на базе трехслойных фотоэлементов, их КПД достиг 44,4%. Использование таких солнечных батарей существенно бы увеличило выработку электроэнергии, но отразилось бы на цене. Для принятия верного решения в каждом конкретном случае требуется проводить оптимизацию.



**Рис. 1. Распределение солнечной интенсивности за 2015 год для Крыма**

Помимо солнечной энергии, в Крыму большой потенциал для использования энергии ветра. На побережье средняя скорость ветра составляет порядка 5-6 м/с, в некоторых местах превышает 8 м/с. Для рассмотренного выше Красногвардейского района в соответствии со сводом правил СП 20.13330.2011 (Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия») Красногвардейский район относится к ветровому району 2 с ветровой нагрузкой до 42 кг/м<sup>2</sup> и скоростью ветра от 4 до 5 м/с [5]. В этом случае наиболее подходящим будет парусный ветрогенератор. В отличие от лопастного, он стартует при ветре 1,5-2 м/с и, хотя имеет меньшую быстроходность и, соответственно, вырабатываемую мощность, он исправно обеспечивает нас электричеством тогда, когда лопастной ветрогенератор выдает только нулевую мощность.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что использование возобновляемых источников энергии, а именно энергии солнца и ветра, находит в Крыму эффективное применение и обладает рядом преимуществ. Даже в местах, отдаленных от побережья, использование ветрогенераторов и солнечных батарей позволит сохранить промышленность, дать толчок для дальнейшего развития, не нанося ущерба окружающей среде. Возобновляемая энергетика хорошо развита в Европейских странах, в Германии, Франции, Испании, Италии и других странах. Крымский полуостров это один из субъектов Российской Федерации, в которых можно наиболее эффективно использовать возобновляемую энергетику.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление совета министров республики Крым от 9 апреля 2015 года №186 // 2015 г. [rk.gov.ru/rus/file/pub/pub\\_275922.pdf](http://rk.gov.ru/rus/file/pub/pub_275922.pdf)
2. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2016 году // 2016 г. [http://so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2017/ups\\_rep2016.pdf](http://so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2017/ups_rep2016.pdf)
3. Поворот под прямым углом. К чему привело переключение инфраструктуры Крыма на Россию // Газета «Коммерсантъ» 17.03.2017.
4. В Sharp разработали «концентрирующий» фотоэлемент с КПД 44,4% // Geektimes 15.06.2013. <https://geektimes.ru/post/183426/>
5. СП 20.13330.2011 (Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия» // 2011.

УДК 621.783+662.612.11

**ПРИМЕНЕНИЕ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ В  
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕЧАХ  
APPLICATION OF REGENERATIVE BURNERS IN HIGH TEMPERATURE FURNACES**

**Евгений Олегович Лебединский, Елена Юрьевна Александрова,  
Ирина Витальевна Петрушина  
Eugene O. Lebedinsky, Elena Yu. Aleksandrova, Irina V. Petrushina**

*Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва  
National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Russia, Moscow  
(e-mail: evg1212@rambler.ru, Lenea-1616@yandex.ru, Irishka950210@yandex.ru)*

*Аннотация:* Рассмотрено решение внедрения регенеративных горелок в термическую печь с выкатным подом, проведены расчёты и математическое моделирование процесса горения.

*Abstract:* The solution the introduction of regenerative burners to heat the furnace with bogie hearth furnace, calculations and mathematical modeling of the combustion process are carried out.

*Ключевые слова:* регенеративная горелка, печи периодического действия, термическая обработка.

*Keywords:* regenerative burner, batch ovens, heat treatment.

Тепловые агрегаты играют важную роль в черной и цветной металлургии, машиностроении. Производство чугуна, стали, проката невозможно без использования металлургических печей, так же как немислимы без печей цветная металлургия, литейные и термические цеха машиностроительных заводов. Заводы в своей структуре имеют большое число прокатных и кузнечно-прессовых цехов, в которых эксплуатируются нагревательные и термические печи, осуществляющие сложные технологии нагрева металлической продукции. В большинстве своём эти заводы в России были построены в середине прошлого века. Они физически устарели и уже давно не соответствуют современным требованиям технологии нагрева и экономии топлива.

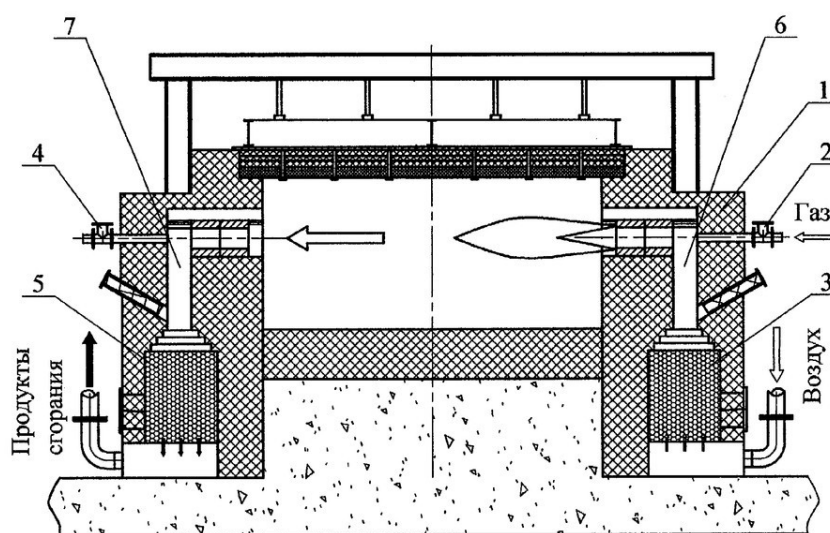
В связи с этим одним из наиболее актуальных решений совершенствования технологического режима нагрева металла и дальнейшей его обработки в термических печах является внедрение современных регенеративных горелок.

В работе рассмотрено решение внедрения регенеративных горелок в термическую печь с выкатным подом, расчёт и математическое моделирование процесса горения. На рисунке 1 представлен принцип работы регенеративной горелки.

В таблице 1 приведены технические характеристики термической печи с выкатным подом [1].

**Таблица 1. Технические характеристики термической печи**

Характеристики	Размерность	Значение
Масса садки	т	До 500
Температура нагрева	°С	До 1000
Топливо	-	Природный газ
Теплота сгорания	МДж/ м <sup>3</sup>	36
Температура подогрева воздуха	°С	300
Тип рекуператора	-	Металлический трубчатый
Удельный расход тепла	МДж/кг	До 2



**Рис.1 . Принцип работы регенеративных блоков**

1 – методическая печь; 2,4 – горелочные устройства; 3,5 – регенеративные теплообменные насадки; 6,7 – газоходные каналы, футерованные огнеупором.

Термическая печь с выкатным подом [2] применяется для термической обработки (отжиг, закалка, отпуск, нормализация). Отличительной особенностью является наличие выкатного пода, что упрощает манипуляцию с садкой.

Диапазон рабочих температур до 1150 °С с высокой точностью распределения температуры в рабочем пространстве печи.

Дополнительными элементами конструкции по сравнению с печами со стационарным подом являются:

- выкатной под выполнен из конструкционной стали и сортового проката, а также жаропрочного обрамления. Система смазки подшипников колес централизованная. Механизм перемещения пода – электромеханический с частотным преобразователем;
- уплотнительный затвор пода печи реализуется на базе пневматической системы и обеспечивает герметичное уплотнение камеры печи.

В работе были произведены расчёты материальных балансов и тепловых балансов нагревательной и термической печи для нагрева и обработки металлических заготовок. В результате расчёта выявлено, что с применением современных регенеративных горелок и футеровок:

- КПД печей по сравнению с аналоговыми печами существенно выше;
- при относительно высокой производительности для нагревательной печи удельный расход условного топлива соответствует современным требованиям по энергосбережению.

Замена старых горелочных устройств на современные регенеративные горелки дала следующие результаты:

- высокотемпературный подогрев воздуха;
- резкое повышение коэффициента использования топлива в пределах 75-85 %;
- экономия природного газа до 65 %;
- построены 3D модели с помощью программы SolidWorks;
- проведено компьютерное моделирование с целью изучения температурных полей в пространстве нагревательной и термической печи при помощи программы FlowVision.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гусовский В.Л. Современные нагревательные и термические печи (конструкции и технические характеристики). М.: Машиностроение, 2001. 656 с.
2. Миткалинский В.И. Металлургические печи: Атлас. Учеб. Пособие для вузов/ 3-е изд., перераб. и доп. М.: Metallurgia, 1987. 384 с.

УДК 541.18.042.2:678.745

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЦЕСС ФЛОКУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ  
ОТРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ  
EFFECT OF TEMPERATURE ON THE FLOCCULATION PROCESS OF  
PURIFICATION OF WASTE MINERAL OILS**

**Виктория Евгеньевна Проскурина, Татьяна Сергеевна Фалалеева,  
Юрий Геннадьевич Галяметдинов  
Victoria E. Proskurina, Tatyana S. Falaleeva, Yuri G. Galyametdinov**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, Казань  
Kazan National Research Technological University, Russia, Kazan  
(e-mail: v\_proskurina@mail.ru)*

*Аннотация:* Изучено влияние температуры и концентрации неионогенного полиакриламида, анионного и катионного сополимеров акриламида на процесс флокуляции бентонитовой глины в отработанном трансформаторном масле.

*Abstract:* It is studied that the influence of the temperature and concentration of the nonionic polyacrylamide, anionic and cationic acrylamide copolymers for the flocculation process of bentonite clay in waste of transformers oil.

*Ключевые слова:* анионный, катионный сополимер акриламида, неионогенный поакриламид, флокуляция, флокулирующая активность

*Keywords:* anionic, cationic copolymer of acrylamide, a nonionic polyacrylamide, flocculation, flocculating activity

Процесс окислительного старения нефтяных масел сопровождается образованием гетерогенной системы на основе окисленных форм углеводородов, смолистых и сернистых веществ [1, 2]. Это старение может быть обусловлено воздействием повышенной температуры, кислорода и электрического поля. В результате старения трансформаторного масла, которое является изоляционной средой в высоковольтном оборудовании, ухудшаются его электроизоляционные свойства, происходит накопление осадка на активных частях оборудования, ускоряется старение целлюлозной изоляции.

Простая замена отработанной маслосодержащей системы на новую является довольно расточительной процедурой. Большинство специалистов работающих с маслонаполненными трансформаторами предпочитают заменять масло в трансформаторах. 26-77 % всех отработанных масел нелегально сбрасывается на почву и в водоемы; 40 – 48 % - собирается, но из собранных отработанных масел только 14 – 15 % идет на очистку, а остальные 26-33 % используются как топливо или сжигаются. Несмотря на то, что отработанные нефтепродукты токсичны, законодательство в России по этому вопросу до сих пор отсутствует.

В этой связи наиболее перспективной является очистка масла с целью последующей регенерации его свойств [3-5]. Анализ ряда публикаций [6, 7] показывает, что известные промышленные технологии основаны на многоцикличном использовании фильтров или адсорбентов. Контактная очистка отработанных изоляционных масел с помощью флокулянтов позволяет сократить технологический процесс на стадии удаления кислого шлама в 8-10 раз. Данный факт обуславливает необходимость разработки оптимального состава очистной системы, поскольку важной задачей при использовании адсорбентов является не только химический состав, но и размер частиц, диаметр пор и влажность.

Важным вопросом в технологии регенерации трансформаторных масел остается отыскание путей интенсификации процессов осаждения частиц отбеливающих глин и адсорбции асфальто-смолистых веществ, органических кислот и других окисленных форм. Существующие нормативные и рабочие документации в отношении отработанных



трансформаторных масел рекомендуют применять адсорбционную очистку посредством использования отбеливающих глин типа «Фуллерова земля», «Зикеевская земля». Использование таких традиционных методов энерго- и ресурсозатратно, поэтому не всегда популярно в сфере электроэнергетики. В этой связи актуально применение полиакриламидных флокулянтов.

**Экспериментальная часть**

В качестве объектов исследования выбраны образцы отработанных минеральных трансформаторных масел, непригодных для дальнейшей эксплуатации по таким показателям качества, как кислотное число и тангенс угла диэлектрических потерь. В качестве водорастворимых полиакриламидных флокулянтов (ПААФ) были использованы катионный статистический сополимер акриламида с гидрохлоридом диметиламиноэтилметакрилата, анионный сополимер акриламида с акрилатом натрия и неионогенный полиакриламид (таблица 1).

**Таблица 1. Основные характеристики полимерных флокулянтов**

Название флокулянта	Химические формулы повторяющихся звеньев	Условные обозначения флокулянтов	β, % мол.	М·10 <sup>-6</sup>
Полиакриламид	$\left( \text{CH}_2 - \underset{\text{O}=\text{C}-\text{NH}_2}{\text{CH}} \right)_n$	Н	0	8,7
Статистический сополимер акриламида с акрилатом натрия	$\left( \text{CH}_2 - \underset{\text{CONH}_2}{\text{CH}} \right)_{n_1} \left( \text{CH}_2 - \underset{\text{O}=\text{C}-\text{O}^- \text{Na}^+}{\text{CH}} \right)_{n_2}$	А	17,5	6,7
Статистический сополимер акриламида с гидрохлоридом диметиламиноэтилметакрилата	$\left( \text{CH}_2 - \underset{\text{CONH}_2}{\text{CH}} \right)_{n_1} \left( \text{CH}_2 - \underset{\text{O}=\text{C}-\text{O}-\text{C}_2\text{H}_4-\text{N}^+(\text{CH}_3)_2}{\text{C}} \right)_{n_2}$	К	16,3	2,3

При рассмотрении особенностей флокуляции в условиях свободного оседания частиц дисперсной фазы (ДФ) в качестве реальной дисперсной системы использовали суспензию бентонитовой глины марки «Бентокам» Берёзовского месторождения (Татарстан), (ТУ 39-0147001-105-93) со средним радиусом частиц ДФ R<sub>ср</sub> = 5,5·10<sup>-6</sup> м и с плотностью – 2,63·10<sup>3</sup> кг/м<sup>3</sup>. Существенным признаком бентонитовых глин является их высокая гидрофильность.

Метод седиментационного анализа осуществляли на весовом седиментометре, оснащённом программным обеспечением «DTS Application Software» компании Sedimentation Instruments. Работа под управлением операционной системы Windows™ позволила получить графическую интерпретацию результатов измерения с выходом на гранулометрические характеристики дисперсных систем.

Для качественной оценки степени деградации минерального масла использовали газовую хроматографию, электрические испытания и титриметрию.

**Обсуждение результатов**

Флокуляционная очистка масел зависит от ряда параметров. Наиболее важным среди них является температура. Согласно литературным данным [8] оптимальные условия проведения регенерации масел с помощью отбеливающих земель следующие: от 0,5 до 10 % адсорбента при температуре масла от 80 до 120 °С. Поскольку данный температурный

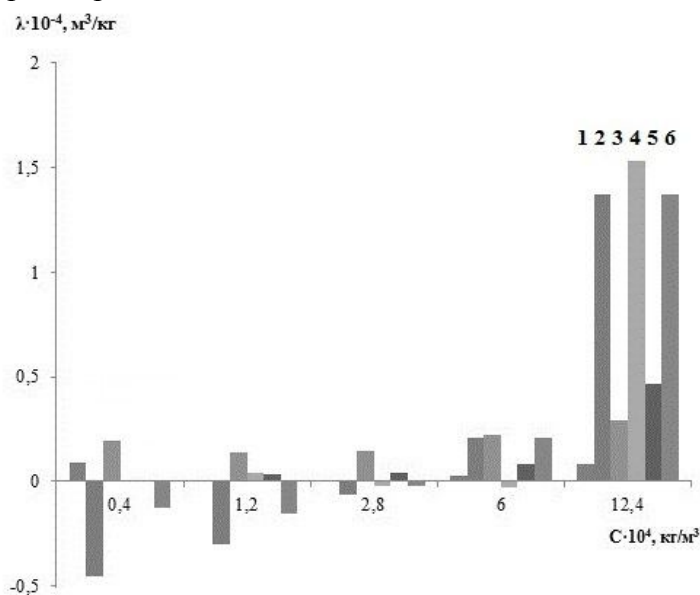
интервал является критическим и для нефтепродукта, и для вводимых полимеров, был выбран диапазон от 25 до 60°C.

Для оценки седиментационной устойчивости дисперсных систем в присутствии флокулянта в качестве количественных критериев использовали интегральную флокулирующую активность:

$$\lambda = \left[ \frac{\bar{u}_i}{\bar{u}_0} - 1 \right] \cdot \frac{1}{C} = \frac{D}{C}, \text{ где } \bar{u}_i, \bar{u}_0 - \text{средние скорости}$$

седиментации суспензии соответственно в присутствии полимерного флокулянта (концентрации C) и в его отсутствие.

В режиме свободного оседания изучен процесс флокуляции суспензии бентонитовой глины в маслonaполненной системе в присутствии ионогенных и неионогенного (со)полимеров акриламида. На рис.1 приведены экспериментальные данные по зависимостям  $\lambda$  от концентрации для трех образцов А, К и Н.



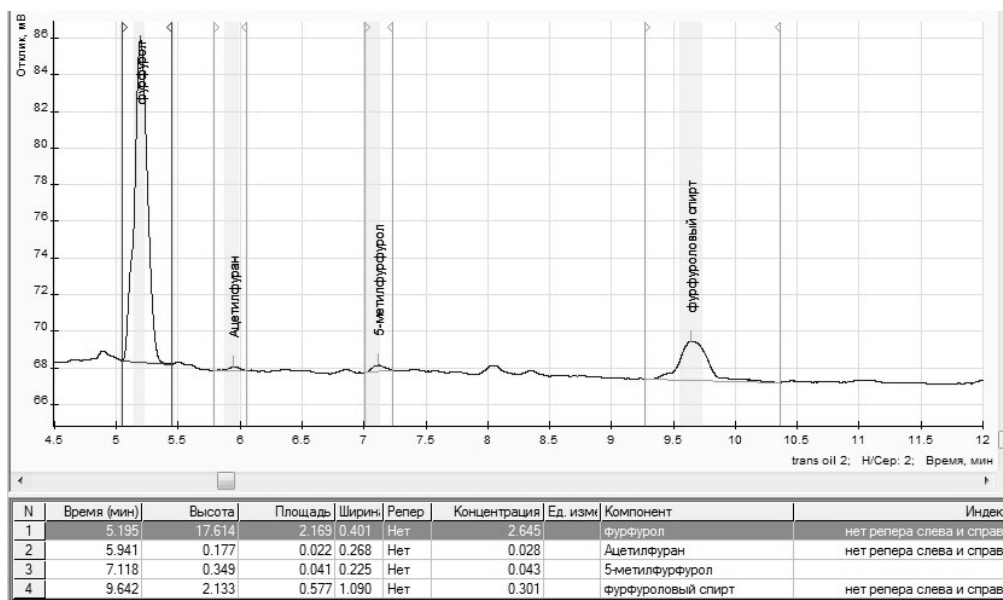
**Рис. 1. Концентрационная зависимость флокулирующей активности  $\lambda$  полиакриламидных флокулянтов при варьировании температуры: 1- А (25°C); 2- А (60°C); 3- К (25°C); 4- К (60°C); 5- Н (25°C); 6- Н (60°C).**

При низкой концентрации полимерной добавки наблюдается стабилизация системы, а при высокой концентрации эффективны добавки образцов А, К и Н при T= 60 °С. С ростом температуры усиливается хаотическое тепловое движение частиц шлама и способность отдельной макромолекулы адсорбировать большее количество частиц возрастает. Подтверждением сказанному служат результаты таблицы 2. С ростом концентрации средний размер агрегатов-флокул закономерно увеличивался.

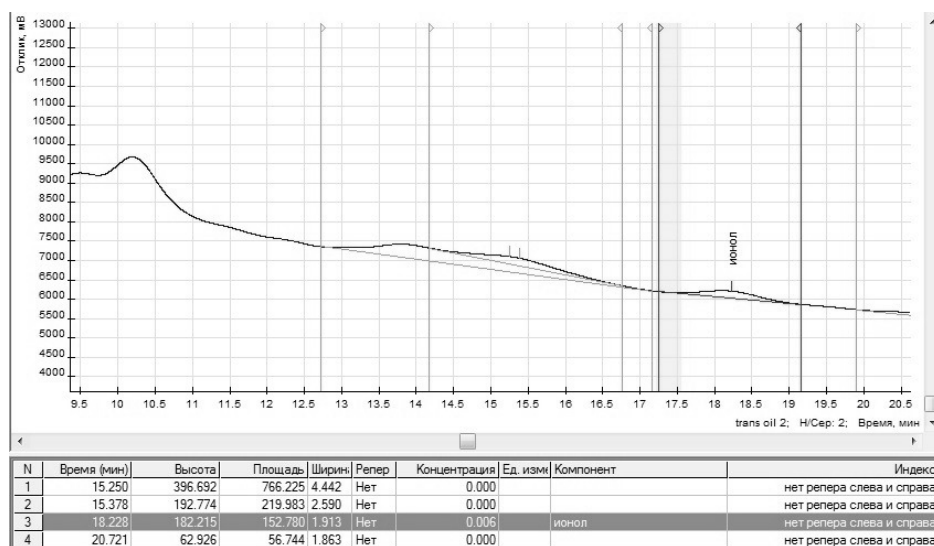
**Таблица 2. Выборочные данные о средних размерах агрегатов-флокул в присутствии анионного образца (А) при двух температурах**

C · 10 <sup>4</sup> , кг/м <sup>3</sup>	R <sub>ср</sub> · 10 <sup>6</sup> , м	
	T= 25 °С	T= 60 °С
0	18	22
0,4	19	26
1,2	20	28
2,8	22	33
6,0	23	39
12,4	28	60

Надосадочная жидкость, представляющая собой очищенный слой минерального масла подвергалась дальнейшему анализу на содержание фурановых соединений, антиокислительной присадки и кислотного числа. По данным хроматографического анализа (рис. 2, 3) обнаружено значительное снижение суммарного содержания фурановых соединений. Антиокислительная присадка, сработавшаяся из своего нормативного значения в 0,1% во время эксплуатации масла в электрооборудовании, осталась в пределах, обнаруженных перед апробацией процесса очистки.



**Рис. 2. Хроматограмма экстракта трансформаторного масла на содержание фурановых производных : фурфурол, фурфуриловый спирт, 2-фурилметилкетон(ацетилфурфан), 5-метилфурфурол.**



**Рис. 3. Хроматограмма экстракта трансформаторного масла на содержание антиокислительной присадки.**

В заключение статьи следует отметить, что при  $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  и концентрации  $C = 12,4 \cdot 10^{-4}\text{ кг/м}^3$  отмечен рост флокулирующей активности и среднего размера образующихся агрегатов-флокул для всех анализируемых полимерных образцов. Предложенный способ флокуляционной очистки масел позволяет снизить время протекания процесса седиментации, не требует сложной аппаратуры и осажденный из масла шлам удаляется фильтрацией.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Липштейн Р.А.* Трансформаторное масло. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
2. *Писарева С.И., Каменчук Я.А., Андреева Л.Н., Унгер Ф.Г.* О природе образования и растворения асфальто-смоло-парафиновых отложений // Химия и технология топлив и масел. 2005. № 6. С. 38-41.
3. *Vakruthen M., Raymon A., Pakianathan P. S., Rajamani M. P. E. & Karthik R.* Enhancement of Critical Characteristics of Aged Transformer Oil using Regenerative Additives // Australian Journal of Electrical and Electronics Engineering. 2014. Vol. 11. № 1. P. 77–86.
4. *Большаков Г.Ф.* Физико-химические основы применения топлив и масел. Теоретические аспекты химмотологии. Новосибирск: Наука, 1987. 209 с.
5. *Ковальский Б.И., Безбородов Ю.Н., Фельдман Л.А., Юдин А.В., Петров О.Н.* Современные методы очистки и регенерации отработанных смазочных масел. Препринт. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2011. 104 с.
6. *Кипелов Б.Г., Мезенцев А.И.* Очистка трансформаторного масла землями Зикеевского месторождения // Энергетик. 2003. № 1. С. 33–34.
7. *Коваль Е.О., Богомолов М.С., Майер Э.А., Бондалетов В.Г.* Адсорбционная очистка отработанного трансформаторного масла с использованием промышленных монтмориллонитсодержащих сорбентов // Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 310. № 3
8. *Raymon A., Karthik R.* Enhancement of Critical Parameters of Used Transformer Oil with Naturally Activated Bentonite and Investigation of Vegetable Oil Performance with Antioxidants // International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies. 2013. P. 625-627.

УДК 62-531.3

### К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ МЕСТНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРИ РАБОТЕ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО РЕГУЛИРУЮЩЕГО КЛАПАНА TO THE QUESTION ABOUT THE CALCULATION OF LOCAL HYDRAULIC RESISTANCES AT THE WORK OF THE AXISYMMETRIC REGULATING VALVE

**Анна Борисовна Капанова\***, **Антон Евгеньевич Лебедев\***,  
**Александр Михайлович Мельцер\*\***, **Сергей Владимирович Неклюдов\*\***  
**Anna B. Kapranova\***, **Anton E. Lebedev\***, **Alexander M. Melzer\*\***, **Sergey V. Neklyudov\*\***

*Ярославский государственный технический университет, Россия, Ярославль*

*\*Yaroslavl State Technical University, Russia, Yaroslavl  
(e-mail: kapranova\_anna@mail.ru, lae4444@mail.ru)*

*\*\* ЗАО НПО «Регулятор», Россия, Ярославль*

*\*\* ZAO NPO «Regulyator», Russia, Yaroslavl  
(e-mail: meltzer@mail.ru, neklydov.s@nporeg.ru)*

*Аннотация:* Предложен способ расчета местных гидравлических сопротивлений при работе регулирующего осесимметричного клапана на участке с дроссельными отверстиями в зависимости от конструктивных параметров устройства и физико-механических характеристик транспортируемой среды.

*Abstract:* A method is proposed for calculation of local hydraulic resistances in the work of axisymmetric regulating valve on the section with throttle holes depending on the construction parameters and physical-mechanical characteristics of the transported medium.

*Ключевые слова:* гидродинамическое сопротивление, регулирующий клапан.

*Keywords:* hydraulic resistance, regulating valve.

Задача ресурсо- и энергосбережения при транспортировании жидкостных сред в различных трубопроводных системах успешно решается с помощью регулирующих устройств, в том числе, клапанов осесимметричного типа. Успешное проектирование последних связано с разработкой соответствующей теоретической базы, связанной с описанием движения жидкости в проточной части клапана [1], с целью снижения нежелательных последствий кавитационных эффектов. При этом стохастическое моделирование процесса регулирования потоками жидкости в рабочем объеме клапана [2, 3] предполагает учет его конструктивно-режимных параметров и физико-механических характеристик транспортируемой среды, в частности, при расчете местных гидравлических сопротивлений. Оценить потери давления при работе клапана можно с помощью принципа суперпозиции [4]

$$\Delta p = \sum_{i=1}^n \Delta p_i = (\rho_L / 2) \sum_{i=1}^n \zeta_i w_i^2, \quad (1)$$

для потерь давления в элементарных местных сопротивлениях  $\Delta p_i$ , пользуясь формулой Вейсбаха [5, 6]

$$\Delta p_i = (\rho_L / 2) \zeta_i w_i^2. \quad (2)$$

В (1) и (2) обозначено:  $\rho_L$  - плотность жидкостной среды;  $\zeta_i$  - коэффициент местного сопротивления на участке  $i=1, \dots, n$ ;  $w_i$  - средняя скорость потока перед местным сопротивлением на указанном участке.

Присутствие дроссельных отверстий диаметром  $d_0$  с их общим числом  $\gamma_1$  в каждом из  $j$  «колец» с данными отверстиями ( $j=1, \dots, \gamma_2$ ) в цилиндрической части запорного устройства регулирующего осесимметричного клапана предполагает разделение потоков жидкости, что способствует снижению влияния гидродинамической кавитации. Учитывая переходный режим движения среды, когда число Рейнольдса  $10 < Re < 10^4$  [4, 5], обычно пользуются зависимостью [6]

$$\zeta_{tr} = \zeta_{lr} + \zeta_{qr}, \quad (3)$$

где  $\zeta_{lr}$  и  $\zeta_{qr}$  - коэффициенты местного сопротивления на ламинарном (линейном,  $Re \leq 10$ ) и турбулентном (квадратичном,  $Re \geq 10^4$ ) участках течения жидкости.

Разбивая течение жидкости вдоль цилиндра с дроссельными отверстиями на условные участки в зависимости от конфигурации корпуса осесимметричного клапана на три последовательные области (коническую, цилиндрическую и коническую для участков корпуса соответственно длинами  $h_{c2}$ ,  $S_1$  и  $h_{c3}$ ), при ламинарном движении коэффициент сопротивления трения имеет вид

$$\zeta_{lr}^{(f)} = \frac{64 D_y^2}{Re_y} \left[ \frac{h_{c2} D_y}{[D_{cas2} - D_c + 2(h - \delta_2)]^2 [(D_{cas2} - 2\delta_2)^2 - (D_c - 2h)^2]} + \frac{1}{(D_{cas3} - 2\delta_2 - D_{out}) [(D_{cas3} - 2\delta_2)^2 - D_{out}^2]} \left( S_1 + h_{c3} \frac{D_y^5}{[(D_{cas3} - 2\delta_2)^2 - D_{out}^2] D_{out}^3} \right) \right]. \quad (4)$$

В (4) обозначено:  $D_{cas2}$  и  $D_{cas3}$  - диаметры цилиндрических частей корпуса клапана;  $\delta_2$  - толщина корпуса;  $D_c$  - диаметр цилиндра с дроссельными отверстиями;  $D_y$  и  $D_{out}$  - входной и выходной диаметры корпуса;  $h$  - толщина указанного цилиндра. Для участка с дроссельными проходами коэффициент сопротивления трения в каналах равен

$$\zeta_{lr}^{(p)} = \frac{64}{Re_y} \frac{\gamma_1 \gamma_2 h D_y^3}{d_0^4}. \quad (5)$$

В случае турбулентного режима течения жидкости на рассматриваемом участке коэффициент сопротивления трения в указанных каналах переменного сечения длинами  $h_{c2}$ ,  $S_1$  и  $h_{c3}$  согласно формуле Борда [4] равен

$$\zeta_{qr}^{(vs)} = \left[ \frac{2D_{out}[D_{out} - 2(h_{c2} + S_1 + h_{c3})]}{\gamma_1\gamma_2 d_0^2 \varepsilon} - 1 \right]^2 \frac{[(D_{cas2} - 2\delta_2)^2 - D_c^2]^2}{d_0^4}, \quad (6)$$

где коэффициент сжатия струи  $\varepsilon$  определяется формулой Альшуля [6]

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - (n_{31} + n_{32})/2} \quad (7)$$

с модифицированным значением  $n = (n_{31} + n_{32})/2$  для степени сжатия потока при введении  $S_{\varphi 1}$  - длины дуги между отверстиями на поверхности перфорированного цилиндра

$$n_{31} = \frac{\gamma_1}{180} \frac{S_{\varphi 1}(D_{out}^2 - h^2)}{(D_{out} + 2h)[(D_{cas2} - 2\delta_2)^2 - D_{out}^2]}, \quad n_{32} = \frac{\pi\gamma_2}{4} \frac{d_0^2}{(S_{\varphi 1} + d_0)[u_2(l - d_0) + l]}. \quad (8)$$

Итак, выражения (4)-(6) с учетом (3), (7), (8) связывают набор конструктивных параметров осесимметричного клапана в выбранной области рассмотрения течения жидкости с расчетом коэффициента сопротивления при различных режимах течений среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Капранова А.Б., Лебедев А.Е., Мельцер А.М., Неклюдов С.В., Серов Е.М. О методах моделирования основных стадий развития гидродинамической кавитации // Фундаментальные исследования. 2016. № 3 (часть 2). С. 268-273. <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40043>.
2. Капранова А.Б., Лебедев А.Е., Мельцер А.М., Неклюдов С.В. Стохастическая модель процесса образования кавитационных пузырей в проточной части регулирующего клапана // Вестник ИГЭУ. 2016. № 4. С. 24-29. doi 10.17588/2072-2672.2016.4.024-029.
3. Kapranova A.B., Lebedev A.E., Solopov S.A., Melzer A.M. The application process of the Ornstein-Uhlenbeck to the formation of cavitation bubbles // Czasopismo techniczne. Mechanika. – Krakow, Poland, 2016. V. 113, № 2. P. 139-144.
4. Арзуманов Э.С. Гидравлические регулирующие органы систем автоматизированного управления. М.: Машиностроение, 1985. 256 с.
5. Арзуманов Э.С. Расчет и выбор регулирующих органов автоматических систем. М.: Энергия, 1971. 112 с.
6. Альшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. М.: Недра, 1970. 216 с.

УДК 66.011

**К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ПОРЦИОННОГО СМЕШИВАНИЯ  
В АППАРАТЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ТИПА  
ABOUT THE QUESTION OF THE SIMULATION OF BATCH MIXING IN THE  
APPARATUS OF GRAVITY TYPE**

**Анна Борисовна Капранова, Иван Игоревич Верлока,  
Сергей Владимирович Филиппов, Павел Андреевич Яковлев  
Anna B. Kapranova, Ivan I. Verloka, Sergey V. Filippov, Pavel A. Yakovlev**

*Ярославский государственный технический университет, Россия, Ярославль  
Yaroslavl State Technical University, Russia, Yaroslavl  
(e-mail: kapranova\_anna@mail.ru, compvii@rambler.ru, filippovsergey96@gmail.com,  
pavel.iakovliev@list.ru)*

*Аннотация:* Анализируется связь между неравновесными дифференциальными функциями распределения для числа частиц сыпучих компонентов по характеристическим углам на двух стадиях начального порционного смешивания в аппарате гравитационного типа.

*Abstract:* The relationship between differential non-equilibrium distribution functions for the number of particles of loose components by characteristic corners on two stages of initial mixing portion in the apparatus of the gravity type are analyzed.

*Ключевые слова:* смешивание, щеточные элементы, аппарат гравитационного типа, сыпучие компоненты, смесь.

*Keywords:* mixing, brush elements, apparatus of the gravity type, bulk components, mixture.

Проблема получения сыпучих смесей с содержанием компонентов в различных объемно-весовых пропорциях актуальна для многих отраслей промышленности (пищевые добавки, лекарственные препараты, стекольное производство и т.п.), нужд сельского хозяйства (минеральные композиты для удобрения почвы) и строительной отрасли (комплексные строительные смеси).

Одна из возможностей эффективного смешивания зернистых материалов – применение аппаратов с гравитационным принципом действия при разделении операции на несколько этапов согласно порционной подаче компонента «1», содержание которого в готовой смеси превышает объемно-весовой показатель компонента «2». Первоначально слои (после подачи материалов «1» и «2» из дозаторов рабочих дисперсных сред) соскальзывают с лотка (шарнирно закрепленного на вертикальной стенке аппарата) в зазор барабанного устройства с гибкими элементами (билами) и взаимодействуют с последними, что приводит к образованию разреженных потоков смешиваемых разносортных частиц. Затем полученные потоки ударяются о наклонный отбойник, отражаются в виде факелов и попадают на другой лоток аппарата, шарнирно закрепленный на противоположной вертикальной стенке его кожуха [1]. После нового дозирования материала «1» начинается следующий этап порционного смешивания компонентов «1» и «2».

Однако проектирование данного устройства связано с подготовкой соответствующей инженерной методики расчета, которая в свою очередь опирается на математическое описание исследуемого процесса смешивания. Обозначим ряд основных задач, которые требуется в этом случае решить. Во-первых, выявить условия, при которых наблюдается эффективное смешивание компонентов на каждой стадии (при взаимодействии с билами и ударе об отбойник) любого этапа работы аппарата, рассчитать дозы зернистого компонента «1», провести оценку качества промежуточной смеси и т.д. В настоящей работе предлагается на основе стохастического моделирования процесса образования разреженных потоков после взаимодействия с билами, предложенного в работе [2], решить задачу для

двух стадий начального этапа порционного смешивания сыпучих компонентов – задачу о связи между процессами формирования потоков после взаимодействия со щеточными элементами (закрепленными на поверхности вращающегося смесительного барабана по двум встречным винтовым линиям от его торцов) и после удара об обойную поверхность.

Считая процесс разбрасывания частиц каждого зернистого компонента неравновесным [3] на стадии образования рассеянных потоков после взаимодействия с билами, закрепленными на поверхности вращающегося смесительного барабана с описанным профилем винтовой навивки бил, выделяется элемент фазового объема по двум параметрам – проекциям скорости движения центра масс сферических частиц на поперечную плоскость сечения барабана с переходом к формализму полярной системы координат [4].

Множество неравновесных дифференциальных функций распределения  $p_{ij}(\gamma_{ij})$  для числа частиц компонента  $i$  после срыва с била номером  $j$  по углу рассеивания  $\gamma_{ij}$  (от перпендикуляра к лотку до концов проекций деформированных бил в указанной поперечной плоскости), полученные после моделирования стохастической энергии одиночной сферической частицы

$$p_{ij}(\gamma_{ij}) = a_{ij} \left\{ \left[ \operatorname{erf} \left( \left[ 1 + K_0 K_{3i} (\gamma_{ij} + \psi_{ij}) \right]^2 w_{ij}(\tilde{\gamma}_{ij}) / K_{3i} \right) - \operatorname{erf} \left( w_{ij}(\tilde{\gamma}_{ij}) K_{3i}^{-1} \right) \right] \exp \left\{ - \left[ w_{ij}(\tilde{\gamma}_{ij}) \right]^2 \times \right. \right. \quad (1)$$

$$\left. \left. \times (K_{1i} K_{2i})^{-1} K_4 K_0^2 (\gamma_{ij} + \psi_{ij})^2 \right\} / w_{ij}(\tilde{\gamma}_{ij}) \right\},$$

позволяют получить соответствующую полную дифференциальную функцию распределения  $P_i(\gamma_{ij}) = \prod_{j=1}^{n_b} p_{ij}(\gamma_{ij})$ . Здесь:  $\operatorname{erf}(u)$  - функция ошибок;  $a_{ij}$ ,  $w_{ij}(\tilde{\gamma}_{ij})$ ,  $K_0, K_{1i}, K_{2i}, K_{3i}, K_4$  - коэффициенты, зависящие от множества конструктивно-режимных параметров смесительного барабана (радиуса и длины барабана -  $r_b$  и  $L_b$ , длины щеточных бил  $l_b$ , шага винтовой навивки бил  $h_s$ , высоты зазора между барабаном и первым лотком  $h_0$ , угловой скорости вращения барабана  $\omega$ ) и физико-механических характеристик для сыпучих материалов (плотности веществ  $\rho_{Ti}$ , усредненного по фракциям диаметра частиц  $d_{Ti}$ ) и гибких элементов (их угловой жесткости). Применяя следующее соотношение для связи между усредненным углом рассеивания  $\gamma_i \equiv \sum_{j=1}^{n_b} \gamma_{ij}$  (после взаимодействия со щеточными элементами) и углом отражения  $\mu_{2i}$  (после удара о плоский отбойник) в форме [5]

$$\gamma_i(\mu_{2i}) = \left[ \sum_{j=1}^{n_b} \psi_{ij} + F(\mu_{2i}) + \sum_{j=1}^{n_b} \phi_j \right] n_b, \quad (2)$$

с помощью выражения (1) может быть получено множество неравновесных дифференциальных функций распределения  $q_{ij}(\mu_{2i})$  для числа частиц компонента  $i$  по углу отражения  $\mu_{2i}$  от наклонной отбойной поверхности. В выражении (2) обозначено:

$$F(\mu_{2i}) = \pi - \mu_{2i} / k_{Vi}(\mu_{2i}) - \beta_0 - \beta_1 \quad (3)$$

- функция, связывающая коэффициент восстановления  $k_{Vi}(\mu_{2i}) = \sin \mu_{1i} / (\sin \mu_{2i})$  [6] частиц сыпучих компонентов при их ударе об отбойник под углом «набегания»  $\mu_{1i}$  с углами  $\beta_0$  (отклонения лотка под барабаном от вертикального направления) и  $\beta_1$  (между лотком и плоским отбойником).

С учетом (1)-(3) искомое множество неравновесных дифференциальных функций распределения  $q_{ij}(\mu_{2i})$  для числа частиц компонента  $i$  по углу отражения  $\mu_{2i}$  принимает вид

$$q_{ij}(\mu_{2i}) = (\delta_{ij} / \phi_{ij}) \exp[-S_4 S_0^2 \phi_{ij}^2 [\gamma_i(\mu_{2i}) + \psi_{ij}]^2 / (S_{1i} S_{2i})] \times \quad (4)$$

$$\times \{ \operatorname{erf}[(\phi_{ij} / S_{3i}) \{ 1 + S_0 S_{3i} [\gamma_i(\mu_{2i}) + \psi_{ij}] \}^2] - \operatorname{erf}(\phi_{ij} / S_{3i}) \},$$



где  $S_0, S_{1i}, S_{2i}, S_{3i}, S_4$  - коэффициенты, зависящие от набора конструктивно-режимных параметров гравитационного смесителя. Тогда полная неравновесная дифференциальная функций распределения  $Q_i(\mu_{2i})$  для числа частиц компонента  $i$  по углу отражения  $\mu_{2i}$  равна

$$Q_i(\mu_{2i}) = \prod_{j=1}^{n_b} q_{ij}(\mu_{2i}), \quad (5)$$

Полученные результаты (4), (5) позволяют вычислить долю компонента «1» в зернистой смеси рабочих материалов на первом этапе смешивания в зависимости от разности

$$\Delta U_2^{(1)} = U_2^{(1)} - U_1^{(1)}$$

между долями компонентов «1» и «2» при соотношении их объемов в готовом продукте  $V_1^{(1)}:V_2^{(1)}=U_1^{(1)}:U_2^{(1)}$

$$c_1 = \rho_{T1} \prod_{j=1}^{n_b} q_{1j}(\mu_{2i}) \left\{ \sum_{i=1}^{n_k} \rho_{Ti} \prod_{j=1}^{n_b} q_{ij}(\mu_{2i}) + \rho_{T2} \Delta U_2^{(1)} \prod_{j=1}^{n_b} q_{2j}(\mu_{2i}) \right\}^{-1}, \quad (6)$$

где, например, при соотношении объемов смешиваемых материалов  $V_1:V_2=1:n_V$  с долей первого компонента  $n_V$

$$\Delta U_2^{(1)} = \left| (n_V + U_1^{(1)}) / 2^{n_V-1} - 2U_1^{(1)} \right|. \quad (7)$$

Итак, функции  $Q_i(\mu_{2i})$  и  $q_{ij}(\mu_{2i})$  могут быть использованы при расчете максимальных значений угла отражения от наклонной отбойной поверхности, применяемого при формировании инженерной методики расчета смесителя сыпучих компонентов гравитационного типа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Зайцев А.И., Лебедев А.Е., Капранова А.Б., Верлока И.И.* Смеситель сыпучих материалов гравитационного типа. Патент 258612 РФ. МПК В01F3/18. 10.06.2016. // Б.И. 2016. № 16.

2. *Бакин М.Н., Капранова А.Б., Верлока И.И.* Исследование распределения сыпучих компонентов в рабочем объеме барабанно-ленточного смесителя // *Фундаментальные исследования.* 2014. № 5 (часть 5). С. 928-933. [http:// www.rae.ru/fs/? section=content&op=show\\_article&article\\_id=10003288](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10003288)

3. *Климонтювич Ю.Л.* Турбулентное движение и структура хаоса: Новый подход к статистической теории открытых систем. М.: ЛЕНАНД, 2014. 328 с.

4. *Капранова А.Б., Верлока И.И., Лебедев А.Е., Зайцев А.И.* The model of dispersion of particles during their flow from chipping the surface // *Czasopismo techniczne. Mechanika.* Krakow, Poland. 2016. V. 113, № 2. P. 145-150.

5. *Капранова А.Б., Верлока И.И.* Об оценке содержания ключевого компонента после ударного рассеивания сыпучих материалов на начальном этапе порционного смешивания // *Вестник ИГЭУ.* 2016. № 3. С. 78-83. doi 10.17588/2072-2672.2016.3.078-083

6. *Капранова А.Б., Бакин М.Н., Лебедев А.Е., Зайцев А.И.* Оценка параметра восстановления ударно-взаимодействующих потоков твердых дисперсных сред с наклонным отбойником // *Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология.* Иваново. 2013. Т. 56, вып. 8. С. 111-113.

УДК 66.011

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОСТАДИЙНОГО  
СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ КОМПОНЕНТОВ В ЩЕТОЧНОМ АППАРАТЕ  
EXPERIMENTAL STUDY OF MULTISTAGE MIXING OF BULK COMPONENTS IN  
THE BRUSH APPARATUS**

**Иван Игоревич Верлока, Михаил Николаевич Бакин,  
Анна Борисовна Капанова, Алексей Владимирович Баталин  
Ivan I. Verloka, Mihail N. Bakin, Anna B. Kapranova, Alexej V. Batalin**

*Ярославский государственный технический университет, Россия, Ярославль  
Yaroslavl State Technical University, Russia, Yaroslavl  
(e-mail: compvii@rambler.ru, bmn-town@yandex.ru, kapranova\_anna@mail.ru,  
alexbtln@gmail.ru)*

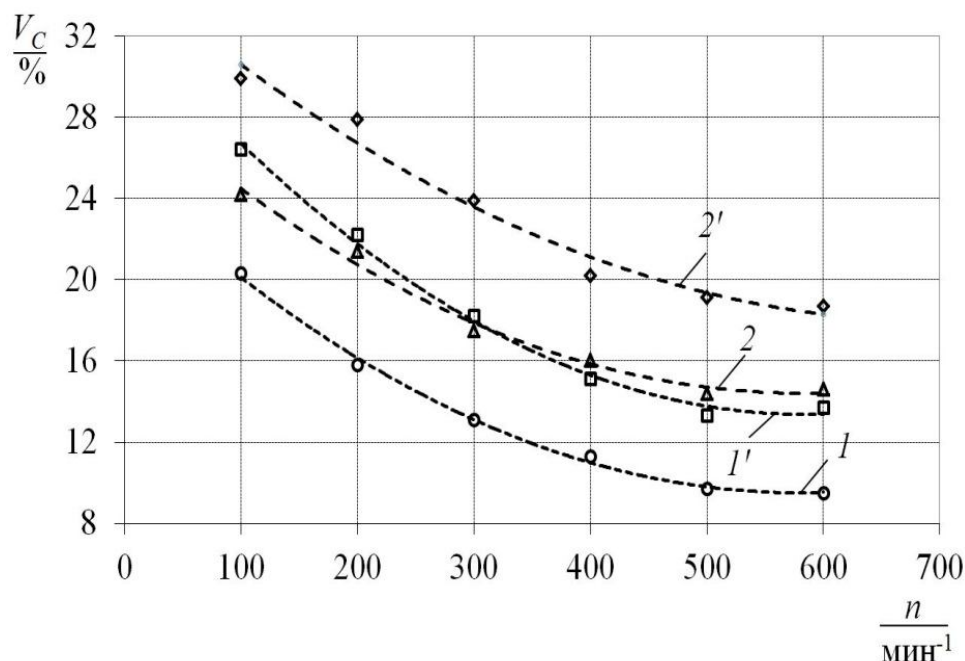
*Аннотация:* Анализируются результаты опытных исследований процесса формирования разреженных потоков для сыпучих сред щеточными элементами смесителя с подвижной лентой при многостадийном способе смешивания с равномерным дозированием компонента, имеющего большую часть в составе готовой смеси.

*Abstract:* The results of experimental researches of process of formation of sparse streams to granular media brush elements of the mixer with a movable tape at multistage method of mixing with a uniform dispensing of the component having a large part in the composition of ready mix are analyzes.

*Ключевые слова:* смешивание, щеточные элементы, смеситель с подвижной лентой, сыпучие компоненты, смесь.

*Keywords:* mixing, brush elements, mixer with movable tape, bulk components, mixture.

В смесительном оборудовании для получения сыпучих смесей методом порционного дозирования в разреженных потоках смешиваемых компонентов может быть использовано устройство со щеточными элементами. Для проектирования энергоэффективного аппарата указанного назначения выполнены экспериментальные исследования многостадийного смешивания сыпучих компонентов в смесителе со щеточными элементами, установленными над горизонтальной подвижной лентой [1]. Отличительная особенность данного устройства - наличие щеточных элементов с винтовой навивкой бил заданного шага. Цель работы – выявление рационального диапазона изменения основных режимных и конструктивных параметров аппарата по оценке коэффициента неоднородности получаемой сыпучей смеси [2, 3] указанным многостадийным способом с равномерным дозированием компонента, который должен иметь большую массовую часть в конечном продукте, например, соотношением 1:10 и более. Лабораторная установка поэтапного смешивания сыпучих компонентов состоит из подвижной ленты, над которой установлен вращающийся барабан со щеточными элементами. Один из компонентов «1» подается на подвижную ленту, первая порция второго компонента «2» (с большим содержанием в готовой смеси) также дозируется послойно и направляется в зазор между валком и лентой. Взаимодействие со щеточными элементами приводит к образованию разреженных потоков смешиваемых сыпучих компонентов. Установленная ловушка с ячейками для отбрасываемого билами материала позволяет проанализировать состав получаемой смеси на различных этапах смешивания. Порции компонента «2» выбраны равными. Радиус барабана:  $r_b = 3 \cdot 10^{-2}$  м; длина бил:  $l_b = 4,5 \cdot 10^{-2}$  м. Рабочими материалами являются: манная крупа ГОСТ 7022-97 и природный песок ГОСТ 8736-93. Зависимости для коэффициента неоднородности  $V_C = V_C(n)$  для сухих и влажных сыпучих сред при порционном внесении компонента «2» и многостадийном смешивании представлены на рис. 1.



**Рис.1. Зависимость  $V_C = V_C(n)$  для смеси манной крупы ГОСТ 7022-97 и природного песка ГОСТ 8736-93 при многостадийном смешивании:**

$$\Delta = 1,5; Q_{V2} = 810^{-3} \text{ м}^3/\text{ч}; 1 - h_s = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}; k_{W1} = k_{W2} = 1;$$

$$V_C(n) = 5 \cdot 10^{-5} n^2 - 0,054n + 25,01; 1' - h_s = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}; k_{W1} = 1,142 \text{ и } k_{W2} = 1,074;$$

$$V_C(n) = 6 \cdot 10^{-5} n^2 - 0,066n + 32,78; 2 - h_s = 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}; k_{W1} = k_{W2} = 1;$$

$$V_C(n) = 4 \cdot 10^{-5} n^2 - 0,05n + 29,1; 2' - h_s = 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}; k_{W1} = 1,142 \text{ и } k_{W2} = 1,074;$$

$$V_C(n) = 4 \cdot 10^{-5} n^2 - 0,049n + 35,16;$$

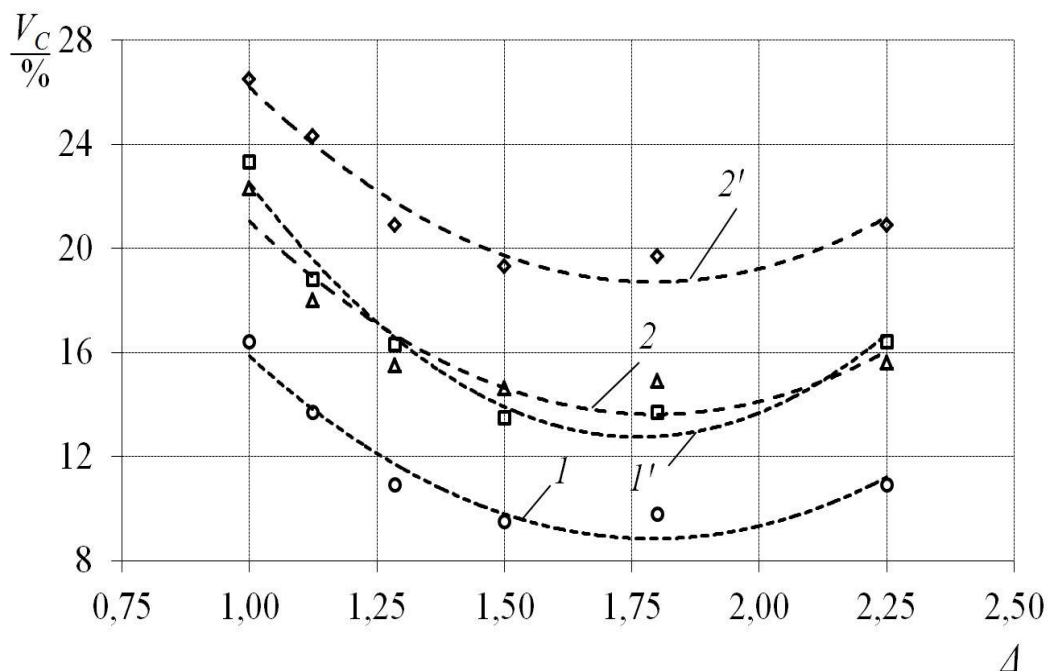
**точки – экспериментальные данные;**

**пунктирные линии – регрессионные зависимости**

Принятые обозначения:  $\Delta = l_b / h_0$  - параметр, характеризующий деформации бил как отношения  $l_b$  - их длины к  $h_0$  - высоте зазора барабан-лента;  $Q_{V2}$  - объемный расход компонента «2»;  $h_s$  - шаг винтовой линии;  $k_{Wi}$  - показатель влажности  $i$ -го компонента (отношение массы влажной и невлажной частиц);  $n$  - частота вращения барабана.

При  $h_s = 1,6 \cdot 10^{-2}$  м с увеличением частоты вращения смесителей от 100 мин<sup>-1</sup> до 500 мин<sup>-1</sup> наблюдается существенное снижение коэффициента неоднородности от 20,3 % до 9,3% (для сухих материалов) и от 26,4 % до 13,3 % (для влажных материалов), что, вероятно, связано с эффектом сближения максимальных углов распыливания частиц в потоках компонентов. В частности, с увеличением частоты вращения барабанов в диапазоне от 400 до 550 мин<sup>-1</sup> становится возможным улучшить коэффициент неоднородности смеси (для сухих материалов) от величины 11,6 % до 9,3 %. При дальнейшем росте частоты вращения смесительных барабанов значения коэффициента  $V_C$  практически не улучшаются.

Зависимость  $V_C = V_C(\Delta)$  для сухих и влажных компонентов проиллюстрирована на рис. 2.



**Рис.2. Зависимость  $V_C = V_C(\Delta)$  для смеси манной крупы ГОСТ 7022-97 и природного песка ГОСТ 8736-93 при многостадийном смешивании:  $n=500 \text{ мин}^{-1}$ ;  $\Delta = 1,5$ ;  $Q_{V2} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $I - h_s = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ;  $k_{W1} = k_{W2} = 1$ ;  $V_C(\Delta) = 11,21\Delta^2 - 40,15\Delta + 44,79$ ;  $I' - h_s = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ;  $k_{W1} = 1,142$  и  $k_{W2} = 1,074$ ;  $V_C(\Delta) = 16,7\Delta^2 - 58,92\Delta + 64,71$ ;  $2 - h_s = 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ;  $k_{W1} = k_{W2} = 1$ ;  $V_C(\Delta) = 11,74\Delta^2 - 42,14\Delta + 51,44$ ;  $2' - h_s = 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ;  $k_{W1} = 1,142$  и  $k_{W2} = 1,074$ ;  $V_C(\Delta) = 11,91\Delta^2 - 42,72\Delta + 56,99$ ; точки – экспериментальные данные; пунктирные линии – регрессионные зависимости**

При  $h_s = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$  с ростом величины относительной деформации бил  $\Delta$  от 1 до 1,5 прослеживается снижение коэффициента неоднородности от 16,1 % до 9,3 % (для сухих материалов) и от 23,3 % до 13,3 % (для влажных материалов). Предположительно это объясняется возрастанием скоростей движения частиц в потоке вследствие распрямления эластичных бил. Взаимодействие бил с элементами сыпучих компонентов приводит к изменению скоростей частиц этих компонентов, как по величине, так и по направлению, а также к расширению угла распыливания. Дальнейшее возрастание значений  $\Delta$  от 1,5 до 2,25 не ведёт к снижению коэффициента неоднородности смеси  $V_C$ , напротив - наблюдается его некоторое увеличение. Итак, наращивание значений относительной деформации бил нецелесообразно по причине роста энергетических затрат и снижения производительности аппарата. В результате экспериментальных исследований установлен набор параметров, оказывающих наибольшее влияние а процесс смешивания: частота вращения барабанов; объемный расход компонента «2», шаг винтовой навивки для щеточных элементов; относительная деформация гибких элементов. Экспериментально подтверждена возможность смешивания влажных сыпучих материалов ( $k_{W1} = 1,142$ ;  $k_{W2} = 1,074$ ) различными исследованными способами с сохранением общего характера протекания указанного процесса в сравнении с операцией получения невлажной смеси ( $k_{W1} = k_{W2} = 1$ ). При указанном многостадийном смешивании ( $n = (400 - 550) \text{ мин}^{-1}$ ;  $\Delta = (1,3 - 1,5)$ ;  $h_s = (1,6 - 3,0) \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ;  $Q_{V2} = (0,4 - 1,6) \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{ч}$ ) наилучший коэффициент неоднородности влажной смеси (13,3%) превышает этот показатель для сухой (9,3 %) только в 1,4 раза.

Полученные результаты совместно с соответствующей стохастической моделью

рассматриваемого процесса [4] могут быть использованы при создании инженерной методики расчета смесительного оборудования со щеточными элементами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бакин М.Н., Капранова А.Б., Верлока И.И. Современные аппараты с подвижной лентой для смешивания сыпучих материалов // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 5 (ч. 4). С. 687-691. URL: [www.rae.ru/fs/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=10003246](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10003246).

2. Макаров, Ю.И. Аппараты для смещения сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.

3. Верлока, И.И., Бакин М.Н., Капранова А.Б. Об экспериментальных распределениях частиц сыпучих компонентов в разреженных потоках // *Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология*. Иваново. 2015. Т. 58. вып. 10. С. 70-73.

4. Бакин М.Н., Капранова А.Б., Верлока И.И. Исследование распределения сыпучих компонентов в рабочем объеме барабанно-ленточного смесителя // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 5 (часть 5). С. 928-933. [http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=10003288](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10003288)

УДК 66.061

### МОБИЛЬНЫЙ СОНОХИМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД MOBILE SONOCHEMICAL COMPLEX OF CLEANING WASTEWATER

**Марат Салаватович Муллакаев\*, Владимир Олегович Абрамов\***

**Георгий Борисович Векслер\*\***

**Marat S. Mullakaev\*, Vladimir O. Abramov\*, George B. Wexler\*\***

*\*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН - ИОНХ РАН,  
Россия, Москва*

*\*Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry, Russian Academy of Sciences- IGIC RAS  
Russia, Moscow (e-mail: mullakaev@mail.ru)*

*\*\*АНК Научно-исследовательский институт «Истории, экономики и права»  
ANO Research Institute "History, Economics and Law Research Institute"*

*Аннотация:* Разработан мобильный сонохимический комплекс на основе малогабаритного оборудования и высокоэффективных технологий. В основе аппаратурно-технологической схемы разработанного комплекса лежит подход, основанный на использовании комбинированных физико-химических методов. Внедрение комплекса позволит значительно сократить капитальные и эксплуатационные затраты при очистке производственных стоков.

*Abstract:* A mobile sonochemical complex based on small-sized equipment and highly effective technologies was 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 implementation of the complex will significantly reduce the capital and operating costs for the treatment of industrial effluents.

*Ключевые слова:* Мобильный сонохимический комплекс, ультразвук, химические реагенты, флотационная очистка, гальванокоагуляционная очистка, ультрафиолетовая стерилизация, комплексная технология,

*Keywords:* Mobile sonochemical complex, ultrasound, chemical reagents, flotation treatment, galvanocoagulation cleaning, ultraviolet sterilization, complex technology.

Год от года увеличивающиеся масштабы индустриальной активности человека делают все более актуальной проблему очистки сточных вод, при этом требования к степени их очистки ужесточаются. Анализ результатов исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполненных за последние годы, свидетельствует об эффективности применения

комбинированных физико-химических методов при решении задач интенсификации технологических процессов получения и переработки конечной продукции в различных отраслях промышленности, а также утилизации отходов производства [1-3].

Ультразвук, вследствие способности стимулировать разнообразные физико-химические процессы, может быть эффективно использован для интенсификации различных процессов в промышленности, обеспечивая снижение их энергоёмкости и повышение эффективности [4-6]. В настоящей работе осуществлено практическое внедрение частично опробованных в лабораторном и полупромышленном масштабах технологий ультразвуковой (УЗ) интенсификации технологических процессов очистки сточных вод в промышленности [7-11].

Целью работы было разработка мобильного сонохимического комплекса (КМСХ) на основе малогабаритного оборудования и высокоэффективных технологий, которые позволят значительно сократить капитальные и эксплуатационные затраты при очистке производственных стоков. В основе лежит комплексный подход, основанный на использовании комбинированных физико-химических методов.

В работе ставились следующие задачи:

- определение механизмов влияния физических методов на вещество, в процессах, используемых в производстве;
- подбор наиболее рациональных режимных и технологических режимов их обработки;
- решение проблем масштабного перехода и отработка рациональных технологических решений в укрупнённом масштабе;
- модернизация установок по результатам экспериментальных работ, оформление технической документации на установки.

При выборе технических средств и их параметров для реализации системы управления комплексом и разработки программного обеспечения, учтены такие требования, как:

- дружелюбность к пользователю, в том числе лёгкая управляемость;
- система корректно поддерживает многопользовательскую работу;
- круглосуточная работа в реальном масштабе времени;
- обеспечение регистрация всей информации, циркулирующей в системе хранение данных о состоянии устройств системы;

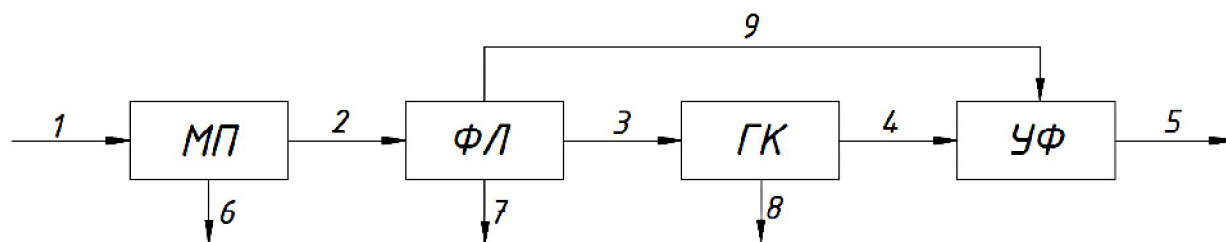
Универсальность предлагаемой разработки обусловлена необходимостью подачи на очистку сточных вод в промышленности в виде отфильтрованной от крупных включений водной неоднородной системы с механическими примесями с концентрацией не более 20-25%. Мероприятия по реализации этого условия следует осуществлять общеизвестными способами с использованием насосного и фильтровального оборудования применительно к конкретному объекту при его обустройстве.

В состав мобильного универсального сонохимического комплекса входят следующие автономные блоки, смонтированные в отдельных контейнерах:

- отделения механических примесей (МП);
- реагентно-флотационной очистки воды (ФЛ);
- гальванокоагуляционной обработки воды (ГК);
- ультрафиолетовой стерилизации и контрольной фильтрации воды (УФ).

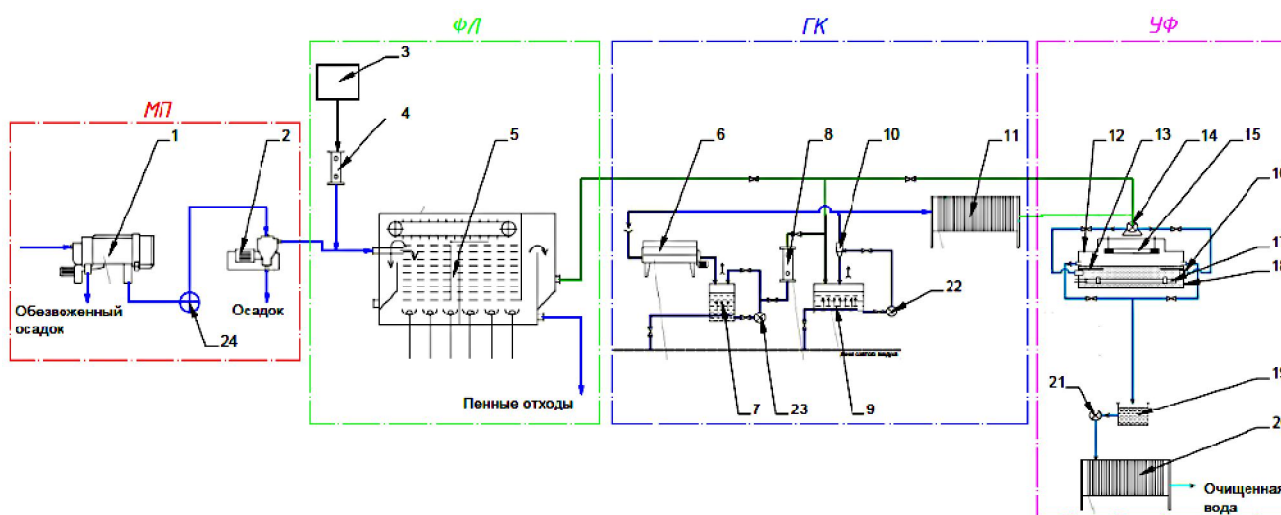
Блок схема на рис. 1 иллюстрирует их функционирование и технологические возможности.

Принципиальная аппаратно-технологическая схема комплекса КМСХ очистки сточных вод в промышленности представлена на рис. 2.



**Рис. 1. Блок-схема мобильного сонохимического комплекса:**

1 – сточная вода, отфильтрованная от крупных включений; 2 – осветленная вода на флотационную очистку; 3 – вода на гальванокоагуляционную обработку; 4, 9 – очищенная вода на обеззараживание; 5 – обеззараженная питьевая вода; 6 – осадок на доочистку или захоронение; 7 – шлам после флотации; 8 – отработанный гальванокоагулянт



**Рис. 2. Мобильный сонохимический комплекс очистки сточных вод:**

1 - центрифуга, 2 – сепаратор, 3 - ёмкость реагента, 4 - блок УЗ активации флотационного реагента, 5 - флотационная камера, 6 – гальвано-коагулятор, 7 – скрапоуловитель, 8 - блок УЗ активации гальванокоагулянта, 9 - реакционная камера, 10 – гидроциклон, 11 – магнитный фильтр, 12 - кожух, 13 - лоток, 14 - насос высокого давления, 15 – ультрафиолетовая лампа, 16- гидродинамический излучатель, 17- УЗ излучатель, 18 - пенал, 19 – промежуточная емкость, 20 – фильтрпресс, 21; 22; 23; 24 - насосы.

Сточные воды подаются на осадительную шнековую центрифугу 1. Водный поток с мало концентрированными тонкодисперсными включениями после гидроциклонирования и подается на саморазгружающийся тарельчатый сепаратор 2, в котором осуществляется разделение водной эмульсии и выделение тонкодисперсных механических примесей. Обезвоженные органические загрязнения откачиваются на переработку.

Осветлённая вода подаётся на очистку во флотационную камеру 5, одновременно в очищаемый поток вводится активированный ультразвуком в установке 4 реагент 3.

После флотационной камеры 5 вода поступает в реакционную камеру 9, в которой перемешивается в предварительно обработанным в УЗ блоке 8 гальванокоагулянт, наработанным в гальванокоагуляторе 6. После очистки в реакционной камере 9 вода подается на магнитный фильтр 11, в котором очищается от мелкодисперсных включений гальванокоагулянта, не задержанных гидроциклоном 10. Предусмотрена возможность подачи очищенной воды после флотации на обеззараживание непосредственно в блок ультрафиолетовой стерилизации и контрольной фильтрации воды, если нет необходимости очищать воду от остатков органических примесей.

Обеззараживание очищенной воды производится под действием ультрафиолетовой (УФ) лампы 15 при одновременной обработке ультразвуком с помощью гидродинамического (ГД) излучателя 16 и УЗ излучателя 17. В фильтропрессе 20 происходит окончательное фильтрование.

Комплекс КМСХ в контейнерном исполнении спроектирован для работы в условиях, максимально приближенные к полевым, причём использование входящих в него технологических блоков в различных комбинациях позволяет эффективно решать экологические проблемы самого широкого спектра в промышленности. Для этого были разработаны базовые технологические модули, обладающие следующими эксплуатационными преимуществами:

- создаваемые модули легко вписываются в существующие технологические цепочки и к ним не предъявляются специальные требования;
- обеспечена компактность аппаратного оформления и низкие капитальные затраты на выполнение строительно-монтажных работ; в частности, контейнеры с технологическими модулями легко устанавливаются на специальные лёгкие фундаменты;
- затраты на эксплуатацию комплекса снижены за счёт автоматизации процессов его управления, энергосбережения, сокращения потребления химических реагентов и уменьшения объёмов твердых отходов, а также за счёт обеспечения возможности использования очищенной воды на технологические и хозяйственные нужды;
- при создании технологий и оборудования обеспечена их универсальность (возможность эффективного применения для широкого круга объектов: с различными плотностями, степенью дисперсности и т.д.), надёжность и повышенная экологическая безопасность в целом.

Создана единая универсальная система управления комплексами, на которую возлагаются следующие функции:

- приём контролируемых и регистрируемых параметров о характере загрязнений на входе и выходе комплексов и выдача команд управления ультразвуковым и технологическим оборудованием;
- сбор информации о технологических параметрах работы комплексов;
- обеспечение оптимального режима расхода химических реагентов;
- наглядное отображение процессов работы комплекса по мнемосхемам;
- контроль и диагностика технического состояния комплексов;
- звуковая и цветовая сигнализация тревог и аварийных событий;
- распечатка протоколов работы комплексов.

В рамках работы отработаны рациональные технологические режимы эксплуатации как отдельных технологических блоков, так и комплекса в целом. Разработан комплект технической документации, а также технологический регламент работы с оборудованием, входящим в состав его отдельных модулей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Chemistry with Ultrasound / Ed. by T.J. Mason. The Society of Chemical Industry. London. Elsevier, 1990. 195 с.
2. 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.
3. Муллакаев М.С. Ультразвуковая интенсификация добычи и переработки нефти. - М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2014. 168 с.
4. Абрамов В.О., Муллакаев М.С., Векслер Г.Б. Восстановление продуктивности нефтяных пластов и очистка загрязненных вод с использованием ультразвукового воздействия - М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2015. - 212 с.
5. Abramov O.V., Abramov V.O., Veksler G.B., Kulov N.N., Zabolina E.V., Kashirskaya O.A., Shkolnikov A.V., Mullakaev M.S. Ultrasonic activation of reagent purification



of surface wastewaters from oil products // Theoretical foundations of chemical engineering. 2009. Vol. 43. P. 568-574.

6. Муллакаев М.С, Абрамов В.О., Векслер Г.Б., Муллакаев Р.М. Ультразвук в процессах очистки кислых рудничных вод // Экология и промышленность России. 2015. № 12. С. 9–14.

7. Кошелева М.К., Булеков А.П., Кереметин П.П., Чабаева 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.

8. Абрамов О.В., Кошелева М.К., Кереметин П.П., Муллакаев М.С. Очистка сточных вод текстильных предприятий гальванохимическим методом с использованием ультразвукового поля // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2009. № 3. С. 107-110.

9. Keremetin P.P., Parilov P.S., Mullakaev M.S., Vexler G.B., Kruchinina N.E., Abramov V.O. Definition of regime and technological parameters of sonochemistry clearing of the petropolluted waters // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2011. Vol.45. P. 931–937

10. Abramov V. O., Abramova A.V., Keremetin P.P., Mullakaev M.S, Vexler G.B., Mason T.J. Ultrasonically improved galvanochemical technology for the remediation of industrial wastewater // Ultrasonics Sonochemistry. 2014. Vol. 21. Issue 2. P. 812 - 818.

11. Абрамов В.О., Векслер Г.Б., Муллакаев М.С., Баязитов В.М, Кручинина Н.Е., Кереметин П.П., Париков П.С. Ультразвуковой гальванокоагуляционный комплекс очистки загрязненных вод // Экология и промышленность России. 2009. № 10. С. 46-49.

УДК 664.87: 542.47

**РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ПРОИЗВОДСТВА СУХИХ ПРОДУКТОВ БЫСТРОГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ И  
РЕКУПЕРАЦИИ ВТОРИЧНОГО ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ  
DEVELOPMENT OF RESOURCE-SAVING INTENSIVE TECHNOLOGY  
PRODUCTIONS OF INSTANT DRY PRODUCTS AND RECOVERY OF SECONDARY  
FOOD RAW MATERIALS**

**Геннадий Владиславович Калашников, Ольга Сергеевна Корнеева,  
Анна Александровна Толкачева, Олег Владимирович Черняев  
Gennady V. Kalashnikov, Olga S. Korneeva, Anna A. Tolkacheva, Oleg V. Chernyaev**

*Воронежский государственный университет инженерных технологий, Россия, Воронеж  
Voronezh state university of engineering technologies, Voronezh, Russia  
(e-mail: kagen5@yandex.ru, harry.kaldwin@yandex.ru, korneeva-olgas@yandex.ru,  
anna-biotech@yandex.ru)*

*Аннотация:* Безотходные технологии переработки картофеля, овощей и производства сухого быстрорастворимого картофельного пюре, сушеных овощей быстрого приготовления предусматривают интенсивную влаготепловую обработку растительного сырья и рекуперацию отходов основного производства с получением пробиотических кормовых добавок на основе биотехнологической конверсии, предложено аппаратурное описание процессов технологической линии на примере переработки картофеля.

*Abstract:* Waste-free technologies of processing of potatoes, vegetables and production of dry instant mashed potatoes, instant dried vegetables provide intensive heat-moisture of handling of vegetable raw materials and a recovery of a wastage of the main production with receiving probiotic feed additives on the basis of biotechnological conversion, the instrument description of processes of the technological line on the example of processing of potatoes is offered

*Ключевые слова:* картофель, безотходная технология, переработка,

быстрорастворимые картофельные хлопья, сушка картофеля, вторичное пищевое сырье .

*Keywords:* potatoes, waste-free technology, processing, instant potato flakes, drying of potatoes, secondary food raw materials .

Сухие продукты быстрого приготовления включая пищевые концентраты, важным компонентом которых являются картофель, крупяные изделия, плоды и овощи, относятся к группе продуктов питания пользующихся широким спросом у населения. Однако в промышленном переработанном виде потребляется на душу населения в год около 2 % плодов, овощей и не более 4 % картофеля от валового сбора (в индустриально развитых странах – 50 % и более) [1, 2]. Сухие продукты быстрого приготовления в основном являются импортными.

Пищеконцентратная, овощесушильная и консервная отрасли являются одними из основных и наиболее трудоемких отраслей пищевой промышленности, что требует интенсификации технологических процессов переработки растительного сырья и разработки эффективного аппаратного оформления. Основные стадии производства сухих продуктов быстрого приготовления (в основном сушка, влагопоглощение), определяющие качество готового продукта, отличаются низкой степенью использования энергопотенциала теплоносителя, неэффективным аппаратным оформлением и относительно высокой продолжительностью процессов.

Общее количество отходов и вторичного сырья пищевых производств России ежегодно составляет более 20 млн. т, около половины этого количества приходится на ресурсы зерноперерабатывающей и плодоовощной отраслей промышленности. Главной проблемой при производстве сухого картофельного пюре является отсутствие полного использования отходов. В России за год образуются следующие отходы картофельного производства: мезга – 60-70 тыс. тонн, отходы при производстве сухого картофельного пюре – до 10 тыс. тонн, сточные воды – 100-120 тыс. тонн. В настоящее время картофельные отходы не находят квалифицированного применения и в основной своей массе в лучшем случае вывозятся на полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) за пределы административного округа, загрязняя окружающую среду, и только незначительная часть направляется на корм в животноводстве [1, 2].

При переработке картофеля на картофеле- и крахмалопродукты наибольшее количество отходов образуется при мойке, инспекции, очистке от кожуры, доочистке, резке, бланшировании или варке. Отходы получают в виде некондиционных клубней, кожуры, мезги, сока, кусочков картофеля в виде срезов с клубней, полуклейстеризованных очисток после пароводотермической обработки картофеля. Основная масса отходов образуется при очистке картофеля. При механическом способе очистки картофеля образуется более 60% отходов, при паровом – 48%.

Целью работы является повышение степени переработки пищевого растительного сырья и использование образующихся отходов основного производства с возможностью получения высокопротеиновых кормовых добавок с пробиотическими свойствами .

Задача состоит в разработке экологически безопасной технологии комплексной переработки пищевого растительного сырья и линии безотходной переработки на примере картофеля при производстве сухого быстрорастворимого картофельного пюре .

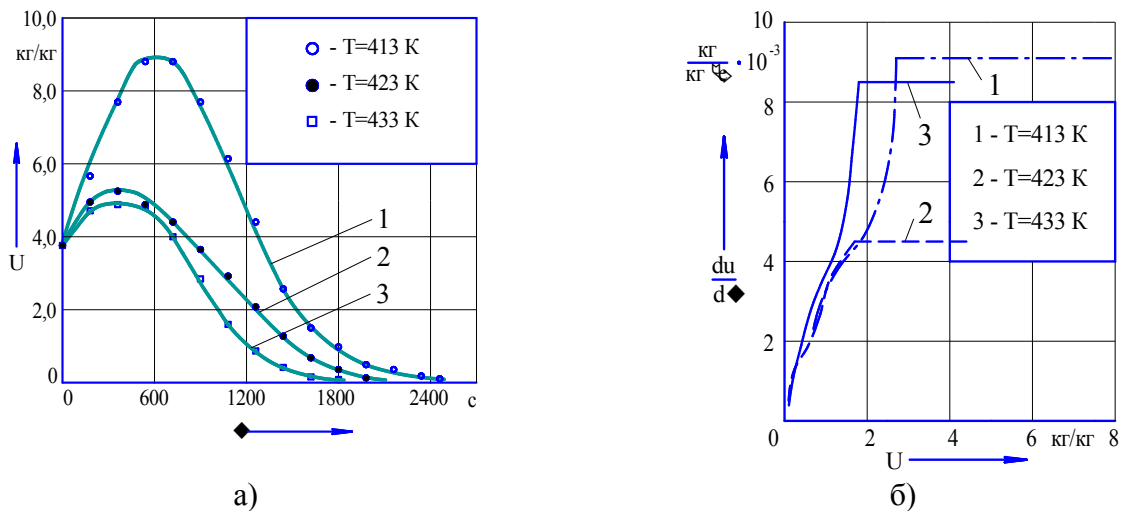
Решение задач основывается на анализе вторичного сырья при переработке картофеля, фруктов и овощей (моркови, столовой свеклы, яблок, груш и др.) и исследованиях процесса их влаготепловой обработки [3-10]. Данные отходы поддаются ферментативной и микробиологической биоконверсии и различным видам переработки [1, 2, 8].

Перспективным направлением развития кормовой базы является получение добавки при производстве кормовых полуфабрикатов с пробиотическими свойствами для мясного и молочного кластеров на основе биотрансформации вторичного углеводсодержащего сырья в виде отходов промышленной переработки картофеля и плодоовощного сырья, что способствует развитию животноводства и птицеводства [6-9].

Особенностью разработанной ресурсосберегающей интенсивной технологии производства сухих продуктов быстрого приготовления является применение влаготепловой обработки

дисперсного растительного сырья с замкнутыми циклами использования теплоносителя, переменным подводом энергоносителя и активным гидродинамическим режимом слоя продукта

Из анализа кривых влагосодержания (рис. 1, а) и скорости изменения влагосодержания картофеля (рис. 1, б) видно, что имеют место три периода: прогрева, постоянной и падающей скоростей. Одной из основных причин интенсификации процесса влаготепловой обработки картофеля и также овощей (морковь, столовая свекла) в импульсном псевдооживленном слое перегретым паром является быстрый прогрев продукта до температуры насыщения  $T_s = 373$  К, который обусловлен конденсацией пара на поверхности частиц вследствие их относительно низкой начальной температуры.



**Рис. 1. Кривые сушки (а) и скорости сушки (б) картофеля при различных температурах перегретого пара, К: 1 - 413; 2 - 423; 3 – 433**

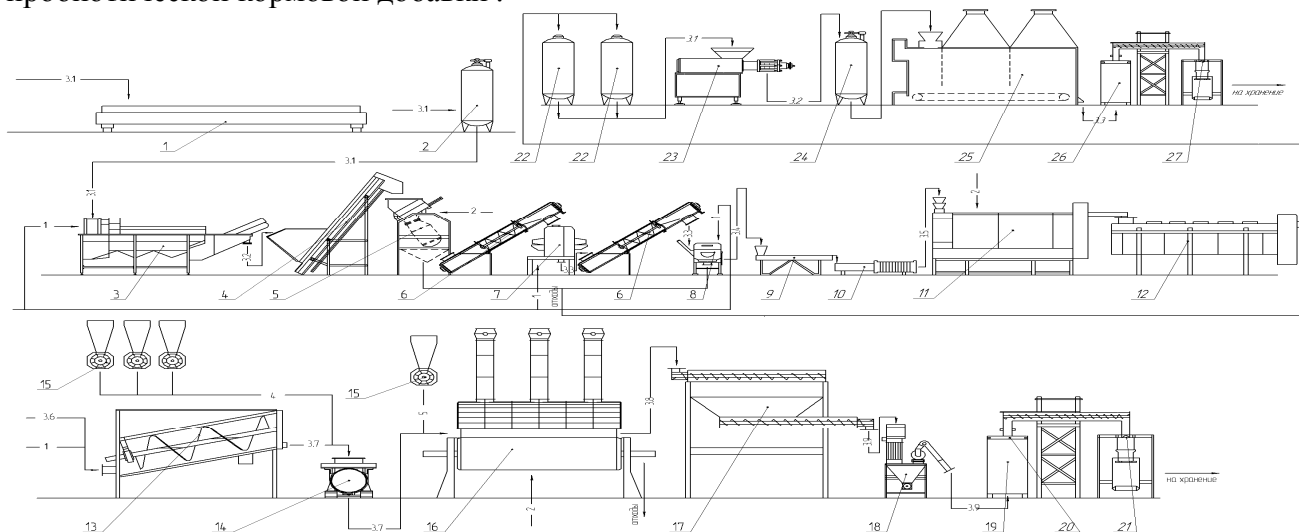
Анализ кривых влагосодержания картофеля (рис. 1, а) показывает, что продолжительность периода прогрева весьма значительна и составляет для картофеля: 23 мин при температуре перегретого пара 413 К, 14 мин при температуре перегретого пара 423 К, 12 мин при температуре перегретого пара 433 К. Этот период может быть использован для проведения процесса варки сырья. При этом большая часть сконденсировавшейся влаги (рис. 1, а) активно поглощается продуктом.

В результате проведенных исследований были определены рациональные технологические режимы процесса влаготепловой обработки, например, для картофеля: температура перегретого пара в течение 15 мин составляла 418 К, с 15 мин и до конца сушки – 423 К ( $T_k$  – температура продукта); скорость перегретого пара при обработке в плотном слое составляла в течение первых 18 мин 2,1 м/с, с 18 мин по 28 мин – 1,3 м/с и с 28 мин до конца процесса сушки – 0,8 м/с; частота пульсаций потока пара составляла в течение первых 10 мин 0,0167 Гц (1 пульсация в минуту), а с 10 мин и до конца процесса сушки – 0,0083 Гц, продолжительность пульсаций составляла 2,5...3,5 с; скорость перегретого пара при обработке в импульсном псевдооживленном слое составляла в течение первых 18 мин 8,0 м/с, с 19 мин по 28 мин – 6,7 м/с и с 29 мин до конца процесса сушки – 5,3 м/с;

Предложена машинно-аппаратурная схема линии производства сухого картофельного пюре на основе разработанной безотходной технологии переработки картофеля (рис. 2).

Дополнительная схема связана с дальнейшей переработкой отходов основного производства и предусматривает получение ингредиентов для кормовых продуктов с пробиотическими свойствами. Предлагаемая машинно-аппаратурная схема линии безотходного производства сухого быстрорастворимого картофельного пюре предусматривает предварительную переработку исходного сырья, влаготепловую обработку очищенного картофеля и использование картофельных крахмалосодержащих отходов основного производства (рис. 2) [4, 6, 7].

В технологической схеме для переработки картофельных отходов основного производства предусматривается: разработка синбиотической композиции для биотрансформации вторичного углеводсодержащего сырья при получении пробиотической добавки в виде кормовой картофельной массы (КМ); биотехнология добавки КМ при производстве кормового продукта с пробиотическими свойствами; разработка пробиотической кормовой добавки.



**Рис. 2. Машинно-аппаратурная схема линии производства картофельных хлопьев и переработки вторичного сырья:**

- 1 – автотранспортер с весами; 2 – бункер накопитель; 3 – моечная машина;
- 4 – инспекционный конвейер; 5 – агрегат для паровой очистки; 6 – винтовые конвейеры;
- 7 – щеточная машина; 8 – моечно-очистительная машина; 9 – инспекционный конвейер;
- 10 – гидрорезательная машина; 11 – бланширователь; 12 – охладитель; 13 – варочный аппарат;
- 14 – шнековая картофелемялка; 15 – дозирующие устройства; 16 – вальцовая сушилка;
- 17 – бункер-измельчитель; 18 – мельница роторного типа; 19 – бункер-сборник;
- 20 – магнитные уловители; 21 – фасовочно-упаковочная машина; 22 – бункеры-накопители ;
- 23 – пресс; 24 – емкость накопительная; 25 – ферментаторы и сушилка с регулировочным дозатором; 26 – бункер-накопитель с магнитными уловителями ;
- 27 – расфасовочно-упаковочное оборудование

На участке переработки отходов предусматривается культивирование пробиотических микроорганизмов на питательной среде на основе вторичного углеводсодержащего сырья, концентрирование и сушка полученной пробиотической кормовой добавки (рис. 3).



**Рис. 3. Схема производства пробиотической кормовой добавки**

Для получаемого полуфабриката из вторичного картофельного сырья основного производства были определены основные характеристики пробиотической кормовой добавки на модифицированной питательной среде, представленные в таблице 1.

**Таблица 1. Основные характеристики кормовой добавки**

№	Наименование показателя	Характеристика и норма
1	Внешний вид	Сыпучий порошок
2	Цвет	От светло-коричневого до темно-коричневого цвета
3	Запах	Запах специфический, свойственный микробиологическим продуктам, без постороннего, плесневелого и гнилостного
4	Массовая доля влаги, %, не более	12,0
5	Количество жизнеспособных бактерий, <i>Bacillus subtilis</i> КоЕ/г, не менее	$1,0 \times 10^6$
6	Подлинность	Должен содержать бактерии <i>Bacillus subtilis</i>
7	Микробиологическая чистота:	
8	Бактерии родов <i>Pseudomonas aeruginosae</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , Сем. <i>Enterobacteriaceae</i>	Не допускаются
9	Общее число мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), не более тысяч КОЕ/г	300

На основе полученных кинетических закономерностей сушки картофеля предложены энергосберегающие способы комбинированной конвективной сушки с переменными теплоподводом и гидродинамическими режимами слоя сырья, которые позволяют сократить продолжительность влаготеплового воздействия например, картофеля с 50 мин до 40 мин по сравнению с известными аналогами при обеспечении требуемого качества готового продукта [11, 12].

Достоинство предлагаемой интенсивной технологии заключается в повышении качества готовой продукции, снижении энергозатрат при осуществлении производства, безотходности производства сухого картофельного пюре, снижении себестоимости производства основной продукции за счет реализации дополнительной в виде кормового продукта, а также улучшении состояния окружающей среды и экологической безопасности производств при переработке картофеля вследствие максимальной утилизации картофельных отходов

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Серпова, О.С. Ресурсосберегающие технологии переработки картофеля: науч. ан. обзор. / О.С. Серпова, Л.А. Борченкова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. 84 с.
2. Шванская, И.А. Использование отходов перерабатывающих отраслей в животноводстве: науч. аналит. обзор. / И.А. Шванская, Л.Ю. Коноваленко // Росинформагротех. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 96 с.
3. Калашников, Г.В. Технология рекуперации вторичного картофельного и плодоовощного сырья для сельского хозяйства / Г.В. Калашников, Е.В. Литвинов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. тр., Воронеж. – Воронеж: ООО «Диамант-принт». 2014. Т. 2. № 5. Ч.3 (10-3). С. 229-233.
4. Калашников, Г.В. Линия безотходной комплексной переработки картофельного сырья / Г.В. Калашников, Д.В. Назаретян // Материалы Международной научно-техн. конф. «Инновационное развитие техники пищевых технологий». – Воронеж: «ВГУИТ», 2015. С. 108-111

5. Калашников, Г.В. Ресурсосберегающая машинно-аппаратурная схема линии переработки плодов и овощей / Г.В. Калашников, Е.В. Литвинов // Международная научно-техн. конф. «Эколого-ресурсосберегающие технологии и системы в лесном и сельском хозяйстве». – Воронеж: ООО «Диамант-принт». 2014. № 3. Ч.4. С. 431-435.

6 Калашников, Г.В. Машинно-аппаратурная схема линии безотходного производства сухого картофельного пюре / Г.В. Калашников, Д.В. Назаретьян, С.В. Миньченко, Б.П. Лазарев // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2015. № 4 (8). С. 54-59.

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

8. Калашников, Г.В. Анализ вторичного пищевого сырья при производстве быстрорастворимых картофельных хлопьев и переработки картофеля / Г.В. Калашников, Л.В. Шухмина, Д.В. Назаретьян // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. № 6 (14). 2016. С. 69-75

9 Калашников, Г.В., Шухмина, Л.В. Технологическая схема комплексной переработки картофельного сырья / Материалы II Международной научно-практ. конф. «Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья». – Воронеж : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2016. С. 287-292

10. Остриков, А.Н. Основные закономерности тепло- и массообмена в процессе сушки пищевого растительного сырья перегретым паром / А.Н. Остриков, Г.В. Калашников, С.А. Шевцов // Изв. вузов Пищевая технология. 2014. № 4. С. 87-93.

11. Калашников Г.В., Остриков А.Н., Калабухов В.М., Зуев И.А., Шевцов С.А. Способ производства сушеного картофеля / Пат. № 2254001, Российская Федерация, МПК А 23 В 7/02, ВГА. – № 2003138187/13; Заявл. 31.12.2003; Опубл. 20.06.2005, Бюл. № 17

12. Калашников, Г.В., Щекин, А.А. Роторный аппарат для производства сушеных плодоовощных продуктов и чипсов / Пат. № 2602646 Российская Федерация, МПК F26B 15/14 (2006.01); ВГУИТ. - № 2014146718/06; Заявл. 21.11.2014; Опубл. 20.11.2016, Бюл. № 32

УДК 621.51(06)

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ  
DEFINITION OF THE OPTIMAL STRUCTURE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK  
FOR MODELLING CENTRIFUGAL COMPRESSORS**

**Дарья Юрьевна Попова  
Daria Y. Popova**

*Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске,  
Россия, Смоленск*

*National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Russia, Smolensk  
(e-mail: Leyzi-small@yandex.ru)*

*Аннотация:* В статье показана возможность аппроксимации зависимостей параметров в центробежных компрессорах нейронными сетями. Компрессор описывается как предмет исследования и моделирования. В этой статье обсуждается выбор структур нейронной сети и их обоснование. Описан пример нейронной сети и ее структура. В ходе этого эксперимента были получены результаты расчета КПД центробежного компрессора.

*Abstract:* The article describes the case and the possibility of approximating dependences of the parameters in centrifugal compressors with neural networks. The compressor is described as a subject of research and modeling. This article discusses the choice of neural network structures and

their rationale. An example of a neural network and its structure is described. During this experiment were received the results of the calculation efficiency.

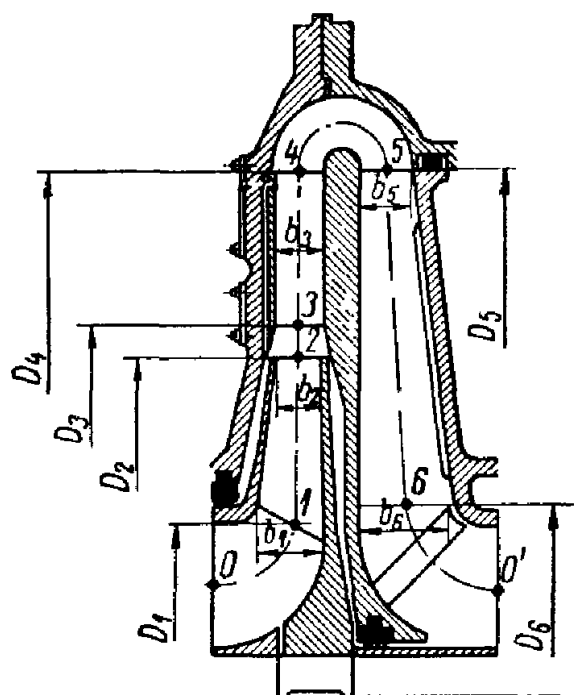
*Ключевые слова:* искусственные нейронные сети, логическая сигмоида, нейрон, центробежные компрессоры, КПД.

*Key words:* artificial neural networks, log-sigmoid, neuron, centrifugal compressor, efficiency.

При эксплуатации центробежные компрессоры часто работают в режимах, далеких от оптимальных параметров. Если максимальный КПД и находится на высоком уровне, то его удастся реализовать в течение непродолжительного времени работы. В связи с этим потери, вызванные снижением значений КПД, приводят к большим перерасходам энергии. Уменьшить их можно на стадии проектирования, учитывая реальный характер графиков загрузки и рациональность конструктивных решений [1]. Актуальность проблемы моделирования центробежных компрессоров состоит в том, что повышение технического уровня компрессоров, их эффективности и надежности позволит существенно уменьшить потребление электрической энергии на привод компрессора при сохранении того же объема производства.

Моделируя сложную техническую систему, разработчики зачастую сталкиваются с отсутствием исчерпывающих данных об объекте. Эмпирические зависимости и отчеты по экспериментальным испытаниям оборудования представляют собой разрозненные данные. Часть данных может являться производственной тайной предприятий и не подлежит разглашению. Тем не менее для улучшения качества работы технических систем необходимо собрать во едино различные описания объекта.

Компрессоры предназначены для сжатия и транспортировки газов, используются в химической, металлургической и других видах промышленности. Для построения модели была рассмотрена промежуточная ступень центробежного компрессора, рис.1. Получена и обработана информация об экспериментальных испытаниях промежуточной ступени и этот элемент описан с помощью нейронных сетей.



**Рис. 1. Схема промежуточной ступени центробежного компрессора.**

Обозначения характерных сечений: 0 – вход во всасывающее отверстие первого колеса; 1 – вход на рабочие лопатки; 2 – выход из рабочих лопаток; 3 – вход на лопатки диффузора или (условный) вход в безлопаточный диффузор (БЛД); 4 – выход из диффузора; 5 – вход на лопатки лопаточного обратного направляющего аппарата (ОНА) или в каналы

канального;  $b$  – выход из обратного направляющего аппарата;  $0'$  – вход во всасывающее отверстие следующего колеса

На предварительном этапе был произведен сбор данных об экспериментальных испытаниях различных промежуточных ступеней центробежного компрессора. Максимальное число параметров составляло 32. С помощью экспертов были выделены основные, значимые параметры, максимально влияющие на характеристику компрессора, таблица 1.

**Таблица 1. Диапазон параметров, использованных для создания нейросети**

Название параметра	Обозначение	Минимум	Максимум
Относительный диаметр втулки	$D_{BT}/D_2$	0,25	0,3916
Относительный диаметр входного отверстия покрывного диска	$D_0/D_2$	0,425	0,64
Относительный диаметр установки лопаток на входе в рабочее колесо (РК)	$D_1/D_2$	0,502	0,668
Относительная высота лопаток на входе в РК	$b_1/D_2$	0,0063	0,124
Относительная высота лопаток на выходе из РК	$b_2/D_2$	0,0063	0,069
Угол установки $\beta_{л1}$ лопаток на входе в РК	$\beta_{л1}$	15	37,61
Угол установки $\beta_{л2}$ лопаток на выходе из РК	$\beta_{л2}$	22,5	85,5
Число лопаток РК	$Z_{РК}$	13	24
Относительная толщина лопатки РК	$\delta_{РК}/D_2$	0,007	0,017
Относительный диаметр на входе в диффузор	$D_3/D_2$	1,01	1,15
Относительный диаметр на выходе из диффузора	$D_4/D_2$	1,41	1,56
Относительная ширина проточной части на входе в диффузор	$b_3/D_2$	0,0056	0,07584
Относительный диаметр входа в лопаточную решетку обратно-направляющего аппарата (ОНА)	$D_5/D_2$	1,41	1,56
Относительный диаметр выхода из лопаточной решетки ОНА	$D_6/D_2$	0,577	0,818
Относительная ширина проточной части на входе ОНА	$b_5/D_2$	0,0288	0,085
Относительная ширина проточной части на выходе ОНА	$b_6/D_2$	0,033	0,094
Угол установки $\alpha_{л5}$ лопаток на входе в ОНА	$\alpha_{л5}$	8,6	37
Число лопаток ОНА	$Z_{ОНА}$	16	
Относительная толщина лопаток ОНА	$\delta_{ОНА}/D_2$	0,022	0,057
Относительный наружный диаметр проточной части у выходного кольцевого конфузора ОНА	$D_0'/D_2$	0,475	0,64
Условное число Маха	$M_u$	0,327	0,92
Условный коэффициент расхода	$\Phi$	0,0024	0,129

Затем для исключения влияния разной физической природы параметров на результат была выполнена линейная нормализация исходных данных.

Для создания нейронных сетей, моделирующих значение КПД ступени, была подготовлена выборка, включающая в себя 22 параметра и 747 различных примеров. Вся выборка была разбита на обучающее и тестовое множество в отношении 9:1. Обучающая выборка включила в себя 672 примера, выбранных случайно после перемешивания выборки. Оставшиеся 75 тестовых примеров в обучении не участвовали.

Для определения оптимальной структуры нейронной сети, аппроксимирующей многопараметрическую зависимость КПД от геометрических и режимных параметров были созданы нейросети различных архитектур – двухслойные нейронные сети с числом нейронов в скрытом слое 10,15,20,25,30. Они были обучены на алгоритме Левенберга-Марквардта, так



как он считается самым быстрым алгоритмом для задач аппроксимации функций, в которых необходимо точное приближение [2].

Для обучения нейросетей были выбраны следующие параметры – значение целевой ошибки 0,0001, количество эпох обучения 1000, функции активации нейронов логическая сигмоида (logsig) для каждого слоя.

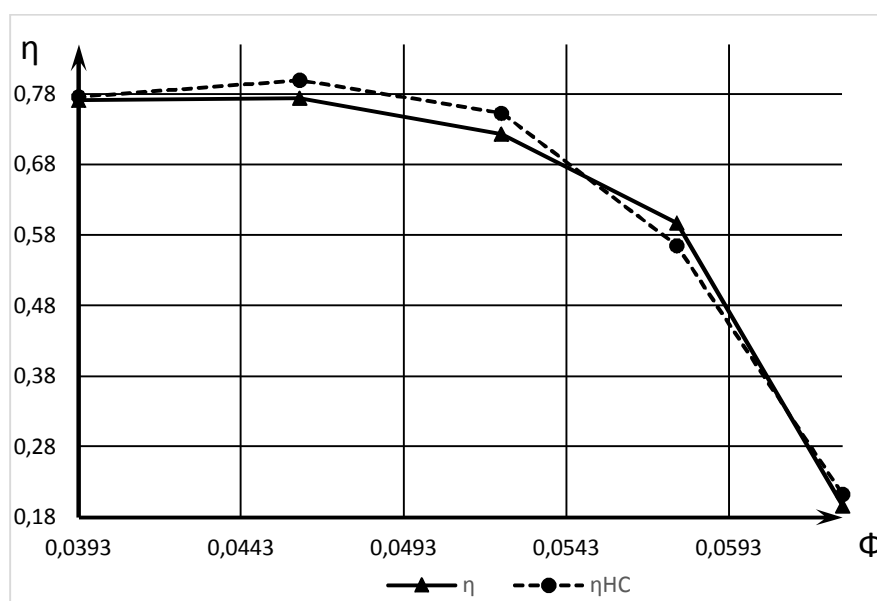
После обучения нейронных сетей было выполнено моделирование и определены ошибки между рассчитанными и экспериментальными значениями – средняя квадратичная ошибка (СКО) и средняя абсолютная ошибка (САО). Как видно из таблицы 2, сеть с 25 нейронами в скрытом слое показала наименьшие значения ошибок.

**Таблица 2. Средние ошибки моделирования для двухслойной сети**

Количество нейронов	10	15	20	25	30
СКО	0,00082	0,00062	0,00075	<b>0,00051</b>	0,00064
САО	0,01065	0,01038	0,01046	<b>0,00988</b>	0,01017
Максимум СКО	0,14629	0,08964	0,16492	<b>0,07644</b>	0,08331

Моделирование характеристик компрессора проводилось в среде Matlab и показало хорошие результаты, минимальная средняя квадратичная ошибка составила менее 1%. Один выходной нейрон выводит значение КПД, рассчитанное с помощью нейронной сети.

Представленный график измеренных и рассчитанных характеристик КПД демонстрирует результаты моделирования (рис.2), где  $\eta$  – исходные значения КПД,  $\eta_{НС}$  – значения КПД, рассчитанные по нейросетевой модели.



**Рис. 2. Расчётные и экспериментальные характеристики политропного КПД от условного коэффициента расхода:  $\eta$  – исходные значения КПД,  $\eta_{НС}$  – значения КПД, рассчитанные по нейросетевой модели**

Также из теорем Арнольда—Колмогорова—Хехт-Нильсена следует, что для построения нейросетевой модели сколь угодно сложной функции достаточно использовать персептрон с одним скрытым слоем сигмоидных нейронов, количество которых определяется формулами, приведенными ниже.

Для определения необходимого количества синаптических весов нейронной сети воспользуемся следствием из теоремы Арнольда—Колмогорова—Хехт-Нильсена, выраженным в виде формулы:

$$\frac{N_y Q}{1 + \log_2(Q)} \leq N_w \leq N_y \left( \frac{Q}{N_x} + 1 \right) (N_x + N_y + 1) + N_y,$$

где  $N_x$  — количество нейронов входного слоя (количество параметров);  $N_y$  — количество нейронов выходного слоя (количество моделируемых величин);  $Q$  — количество элементов множества обучающих примеров, т. е. количество пар входных и выходных векторов  $X_q$  и  $D_q$ ;  $N_w$  — необходимое число синаптических связей.

В соответствии с данными для моделирования получили диапазон от 64 до 758 синаптических связей.  $64 \leq N_w \leq 758$

Рассчитаем и необходимое количество нейронов в скрытых слоях. Например, количество нейронов скрытого слоя двухслойного персептрона будет равно [3]:

$$N = \frac{N_w}{N_x + N_y}$$

Расчет по формулам показывает, что оптимальное количество нейронов в скрытом слое для двухслойного персептрона лежит в пределах от 3 до 33 нейронов ( $3 \leq N \leq 33$ ).

Строгой теории выбора оптимального количества скрытых слоев и нейронов в скрытых слоях пока не существует. На практике чаще всего используются персептроны, имеющие один или два скрытых слоя, причем количество нейронов в скрытых слоях обычно колеблется от  $N_x/2$  до  $3N_x$ . Расчетный эксперимент на нейронных сетях показал, что минимальная ошибка у сети, с количеством нейронов в скрытом слое, равным 25. Это значение соответствует диапазону, полученному в теоретических расчетах по формулам.

В заключение следует отметить, что нейронные сети хорошо отражают форму зависимости и имеют возможность дообучения, при появлении новых данных. Они позволяют вести расчет параметров ступени центробежного компрессора, моделировать и проектировать элементы установки. В перспективе планируется реализовать обратную задачу, в которой в зависимости от желаемых энергетических параметров модель будет подбирать оптимальную геометрию ступени.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Селезнев К.П., Галеркин Ю.Б. Центробежные компрессоры. Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1982. – 271 с.
2. Choose a multilayer neural network training function. 2017. <https://www.mathworks.com/help/nnet/ug/choose-a-multilayer-neural-network-training-function.html>
3. Ясницкий Л.Н. Интеллектуальные системы. – М.: Лаборатория знаний, 2016. – 221 с.

УДК 674.04

**ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В ПРОЦЕССАХ СУШКИ  
ДРЕВЕСИНЫ**  
**EFFECTIVE USE OF ENERGY IN THE PROCESSES OF WOOD DRYING**

**Руслан Рушанович Сафин, Шамиль Рамилевич Мухаметзянов**  
**Ruslan R. Safin, Shamil R. Mukhametzyanov**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, Казань*  
*Kazan national research technological university, Russia, Kazan*  
*(e-mail: joker775.87@mail.ru)*

*Аннотация:* В статье описан созданный пилотный комплекс, где сушильный аппарат состоит из двух вакуумных камер в которых тепловая энергия влаги, испаренной из материала в первой камере тепловым насосом передается на нагрев материала в другой камере. В качестве первичной энергии для работы теплового насоса используется генераторный газ, получаемый из торрефицированного древесного топлива. Приводится анализ энергоэффективности разработанного сушильного комплекса, применительно к осциллирующей вакуумно-кондуктивной сушки пиломатериалов.

*Abstract:* The article describes a pilot complex, where the drying apparatus consists of two vacuum chambers in which heat energy from the moisture evaporated from the material from the first chamber by a heat pump is transferred to heat material in the other chamber. As the primary energy for the heat pump is used producer gas produced from torrefied wood fuel. The analysis of energy efficiency developed a drying unit, in relation to the oscillating vacuum-conductive drying of lumber.

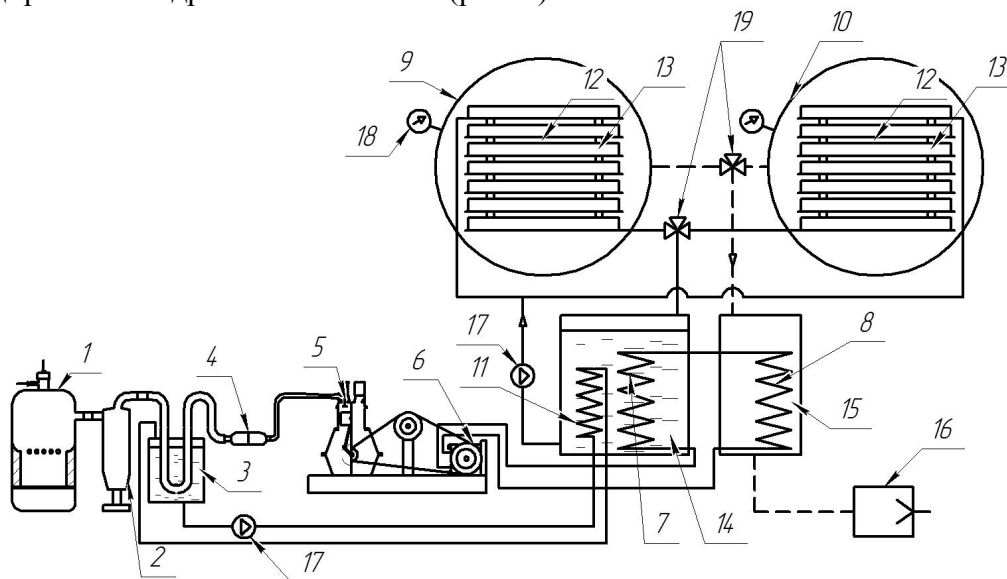
*Ключевые слова:* древесина, вакуумная сушка, тепловой насос, торрефикация.

*Keywords:* wood, vacuum drying, heat pump, torrefaction.

В настоящее время наблюдается тенденция роста тарифов на энергоносители, в связи с чем особенно актуальной становится проблема энергосбережения в производственной деятельности предприятий. Поэтому внедрение энергосберегающих технологий является одним из важных направлений повышения эффективности производства и умелого ведения технологических процессов. При этом к одним из наиболее энергозатратных процессов, используемых во многих отраслях промышленности, можно отнести процессы сушки, которые обычно обусловлены высокими энергетическими затратами [1]. В частности, в деревообрабатывающей промышленности затраты энергии на сушку пиломатериалов достигают 15 % от стоимости продукции. Немаловажную роль в подобных процессах играет и продолжительность, которая на большинстве деревообрабатывающих предприятий занимает от двух недель до двух месяцев в зависимости от сортамента высушиваемого материала, что также приводит к значительному потреблению тепловой и электрической энергии. Решению данной проблемы способствует совершенствование известных и поиск новых методов сушки древесины [2, 3]. Одним из возможных решений является разработка лесосушильного комплекса с использованием теплового насоса, который работает от двигателя внутреннего сгорания, использующего в качестве топлива альтернативный источник энергии – отходы деревообработки, образующиеся на деревообрабатывающих предприятиях. Однако низкая энергетическая плотность измельченной древесины является главной проблемой при ее энергетическом использовании. С целью повышения энергоэффективности отходы деревообработки гранулируют [4]. Кроме того, одним из перспективных способов предварительной обработки древесного топлива является метод торрефикации – высокотемпературное воздействие без доступа кислорода воздуха [5-7].

С целью исследования влияния температуры термической обработки древесного топлива на производительность сушки была создана автономная сушильная установка,

работающая на генераторном газе, являющемся продуктом газификации торрефицированного древесного топлива (рис. 1).



**Рис. 1. Схема экспериментальной установки для сушки древесных материалов:**

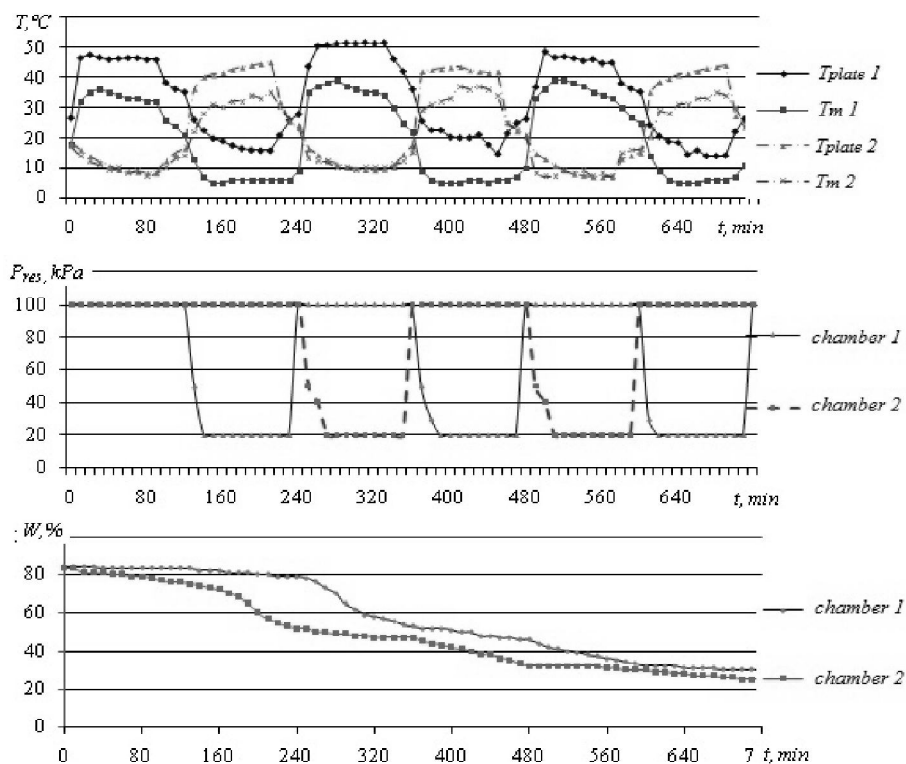
- 1 – газогенератор; 2 – циклон для охлаждения газа; 3 – теплообменник;  
 4 – фильтр; 5 – двигатель внутреннего сгорания; 6 – компрессор теплового насоса;  
 7 – конденсатор теплового насоса; 8 – испаритель теплового насоса;  
 9 – 1-я камера сушки; 10 – 2-я камера сушки; 11 – дополнительный теплообменник подогрева жидкости; 12 – нагревательная плита; 13 – древесный материал; 14 – емкость с сушильным агентом – нагретой жидкостью; 15 – емкость сбора конденсата; 16 – вакуумный насос;  
 17 – жидкостной циркуляционный насос; 18 – вакуумметр; 19 – трехходовой кран.

Принцип работы сушильного комплекса заключается в следующем: топливные гранулы поступают в газогенератор 1, где происходит термохимическая конверсия древесины с последующим получением генераторного газа. Далее генераторный газ после очистки в циклоне 2 поступает в теплообменник 3, где производится его охлаждение путем передачи теплоты газа через ограждающую поверхность жидкому теплоносителю, который при помощи циркуляционного насоса 17 направляется в сушильную камеру 9, 10 для подогрева сушильного агента. После охлаждения и дополнительной очистки в фильтре 4 генераторный газ поступает в двигатель внутреннего сгорания 6, при сжигании которого вырабатывается механическая энергия для работы компрессора 6 теплового насоса [3-6].

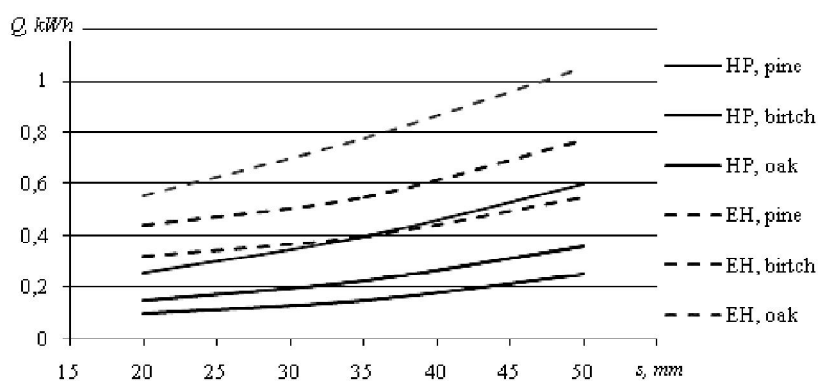
Процесс сушки осуществляется следующим образом. Исследуемые свежесрубленные образцы древесины укладываются в камерах 9 и 10 на нагревательных плитах 12. При этом с целью предотвращения интенсивного удаления влаги с торцов древесины последние окрашиваются быстросохнущей краской. Далее камеры герметизируются с помощью крышек и, включением теплообменников 3, 11, циркуляции теплоносителя, начинается нагрев образца в первой камере. Подогрев древесины продолжается до тех пор, пока температура внутри образца не достигнет заданного значения. После нагрева первая камера подвергается вакуумированию и выдержке до остывания пиломатериала [7]. При этом испаряющаяся из высушенного материала влага, конденсируясь на испарителе 8 теплового насоса, отдает тепловую энергию хладагенту, за счет чего осуществляется стадия нагрева материала во второй камере. Продолжительность стадии вакуумирования в одной камере определяется продолжительностью нагрева материала во второй камере. Далее происходит одновременная смена стадий в камерах. Сушку проводят до тех пор, пока влагосодержание пиломатериалов не достигнет заданного конечного значения.

Было проведено исследование процесса сушки в предложенном сушильном комплексе. В результате проведения были построены кинетические кривые температуры, давления в камере и влажности древесины в процессе вакуум-осциллирующей сушки (рис. 2).

С целью получения данных по энергоэффективности применения теплового насоса в процессах вакуумно-осциллирующей сушки древесных материалов, было проведено сравнение энергопотребления созданной установки для различных пород древесины с электрическим и теплонасосным нагревом (рис. 3). Из графиков видно, что сушка с электрическим подводом тепла проходит со значительно большим энергопотреблением (примерно в 3 раза). Таким образом, было установлено, что применение теплового насоса в процессе осциллирующей вакуумно-кондуктивной сушки древесных материалов является перспективным направлением эффективного использования тепловой и электрической энергии.



**Рис. 2** График протекания процесса осциллирующей вакуумно-кондуктивной сушки: а – температурная кривая, б – кинематическая зависимость давления в камере; в – кривая сушки.



**Рис. 3** Показатели энергопотребления установки осциллирующей вакуумно-кондуктивной сушки для разных пород пиломатериалов: ТН – тепловой насос; ТЭН – теплоэлектронагреватель встроенный в плиту.

Данная работа выполнялась при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук (МД-5596.2016.8).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Vasile Minea*. Efficient Energy Recovery with Wood Drying Heat Pumps // *Drying Technology*. 2012. № 14. P. 1630-1643;
2. *Chou S.K., Hawlader M.N.* Heat pump drying: recent developments and future trends // *Drying Technology*. 2002. V. 20, № 8, P. 1579-1610;
3. *Хасанишин Р.Р., Мухаметзянов Ш.Р.* Исследование режимов сушки в вакуум-осциллирующей установке // *Вестник Казанского технологического университета*. 2011. № 6. С. 207-210;
4. *Мухаметзянов Ш.Р., Каримов А.З., Сафин Р.Р., Герасимов М.К.* Исследования вакуумно-осциллирующей сушки пиломатериалов с тепловым насосом // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. Т. 16. № 6. С. 173-175;
5. *Галяветдинов Н.Р., Мухаметзянов Ш.Р., Хакимзянов И.Ф.* Исследование процессов вакуумной сушки пиломатериалов при осциллирующем режиме // *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18. № 8. С. 185-186;
6. *Galyavetdinov N.R., Safin R.R., Mukametzyanov S.R., Khakimzyanov I.F., Kaynov P.A.* Recycling energy in technology of vacuum drying // *Conference Proceedings 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference "SGEM 2015. Energy and Clean Technologies"*. Bulgaria. 2015, P 731-738;
7. *Galyavetdinov, N.R., Safin R.R., Mukametzyanov S.R., Kaynov P.A., Khakimzyanov I.F.* Study of the speed of vacuum drying of pre-heated wood // *16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016*. Bulgaria. 2016, V. 2, P. 217-222.

УДК 62-626.3

#### НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ГАЗИФИКАЦИИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА SOME ASPECTS OF GASIFICATION OF SOLID FUEL

**Артем Владимирович Голубев, Святослав Петрович Веретельник**  
**Artem V. Golubev, Svyatoslav P. Veretelnik**

*Донецкий национальный технический университет, Украина, Донецк*  
*Donetsk national technical university, Ukraine, Donetsk*  
*(e-mail: a-v-golubev@ya.ru; vsp7319@mail.ru)*

*Аннотация:* Рассматриваются наиболее рациональные направления применения газификации твердого топлива с учетом невысокой стоимости энергоносителей. Показана целесообразность газификации в комбинированном парогазовом цикле ТЭС, работающих на твердом топливе, при получении синтез-газа из кускового кокса, для отдаленных районов.

*Abstract:* The most rational directions of the gasification of solid fuel are considered taking into account the low cost of energy carriers. The expediency of gasification in the combined steam and gas cycle of TPPs operating on solid fuel, when producing synthesis gas from lump coke, for remote regions is shown.

*Ключевые слова:* газификация, твердое топливо, синтез-газ.

*Keywords:* gasification, solid fuel, synthesis gas.

Газификации твердого топлива посвящено огромное количество работ. Продолжительное время этот процесс чрезвычайно широко применялся в промышленности. Полученные искусственные горючие газы использовались [1, 2]:

- для различных химических синтезов, например аммиака и метанола;

- в качестве топлива в тех процессах, где использование твердого топлива недопустимо или сопряжено со значительными трудностями: различные металлургические печи, стекловаренные печи, печи для обжига строительных изделий и материалов;

- для освещения улиц и в бытовых целях;

- в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания – в основном мобильные газогенераторы малой мощности.

В промышленности преимущественно использовалась газификация неспекающегося крупнокускового топлива в аппаратах со стационарным или подвижным слоем.

С появлением дешевого сибирского газа и нефти эти процессы стали неактуальными.

Однако, после резкого подорожания энергоносителей в начале 70-х гг. XX в. интерес к газификации твердого топлива снова резко вырос. Это обусловлено доступностью и повсеместным распространением пригодного для газификации материала.

Было развито большое количество уже исследованных процессов и изучено огромное число новых [1-3]. Традиционно выделяют три промышленных процесса, которые используются в настоящее время:

- различные вариации процесса Лурги – газификация кускового неспекающегося топлива в движущемся слое;

- процесс Копперса-Тотцека – парокислородная газификация мелкодисперсного топлива в потоке;

- процесс Винклера и его различные модификации – газификация мелкозернистого топлива в кипящем слое.

Кроме того, определенное распространение получила газификация местных видов топлива, прежде всего биомассы, в стационарном слое в аппаратах незначительной производительности с использованием получаемого газа для бытовых нужд.

Несмотря на использование этих процессов, в целом следует констатировать весьма ограниченное применение твердого топлива для газификации. Следовательно, газы газификации в общей доле технологических и топливных ресурсов занимают незначительную долю.

Основной причиной разработки и развития процессов газификации твердого топлива были пессимистические оценки относительно цены и запасов нефти и природного газа. Например, согласно многим оценкам 80-х гг. XX в., запасы нефти должны были истощиться к началу 2000-х. Как мы видим, этого не произошло. Постоянно происходит открытие и ввод в эксплуатацию новых запасов. Совершенствование технологии добычи позволяет использовать забалансовые запасы и увеличивать отдачу действующих месторождений. Поэтому следует признать, что существенного роста цен на энергоносители в ближайшее время не предвидится.

Означает ли это, что не следует развивать процессы газификации, а если и следует, то в каком направлении?

Как уже отмечалось, сырьем для газификации могут быть многочисленные виды местного топлива. Соответственно, в ряде случаев с учетом дешевизны и доступности этих топлив их использование для получения искусственных газов может быть целесообразно.

На наш взгляд, можно выделить следующие перспективные направления применения газогенерации:

1. Использование внутрициклового газификации на электростанциях, работающих на твердом топливе. Внутрицикловая газификация позволяет:

- использовать комбинированный парогазовый цикл. Это дает возможность увеличить КПД станции до 20 % (отн.). Соответственно уменьшаются расход топлива и выбросы в атмосферу;

- улучшить регулировку сжигания топлива, упростить и удешевить конструкцию котла, газоходов, горелок вследствие отсутствия абразивных частиц и коррозионноактивных агентов;

- существенно облегчить очистку от серы и пыли. Объем получаемого из твердого топлива горючего газа даже на воздушном дутье значительно меньше, чем объем продуктов горения, получаемых при сжигании этих же количеств твердого топлива. Соответственно, уменьшается объем аппаратов для очистки газа. В газе газификации большая часть серы находится в виде  $H_2S$ , при прямом сжигании угля вся сера переходит в  $SO_2$ . Очистка от  $H_2S$  значительно проще. Отработано множество способов глубокого удаления этого компонента из самых разных газообразных смесей. Улучшение условий сжигания газообразного топлива по сравнению с твердым приводит к уменьшению выбросов оксидов азота.

Все эти преимущества особенно заметны при газификации под давлением.

Конечно, перевод крупной электростанции на комбинированный парогазовый цикл с внутрицикловой газификацией твердого топлива требует огромных капитальных вложений. Как альтернативу можно рассмотреть следующую схему. Приходящее на ТЭС топливо подвергается классификации. Крупная фракция идет на паровоздушную газификацию в аппаратах типа Лурги. Мелкая фракция на дробление и последующее сжигание в пылевом факеле. Такая схема позволяет избежать применения дорогого кислорода, необходимого например, для газогенераторов Копперса-Тотцека и упростить углеподготовку. В то же время такая схема является половинчатым решением. Ее целесообразно применять при постепенном переводе действующих станций на внутрицикловую газификацию для уменьшения капитальных затрат, а также для отработки самого процесса газификации и использования получаемого газа в промышленном масштабе.

2. В мире имеется значительное количество избыточных коксохимических мощностей. Часто коксохимические заводы (КХЗ) находятся в непосредственной близости от предприятий, производящих аммиак и метанол, т. е. использующих в качестве сырья синтез-газ. До 70-х гг XX в. большая часть синтез-газа производилась за счет газификации твердого топлива. Некоторое количество сырья получали из коксового газа. Например, «Стирол» (г. Горловка) получал коксовый газ с Авдеевского, Горловского и Ясиновского КХЗ. Газификацию твердого топлива проводили, как правило, в аппаратах типа Лурги под давлением или без с использованием парокислородного дутья. Аппараты Лурги являются простыми по конструкции и эксплуатации. Их недостатками является использование крупнокускового неспекающегося топлива, невысокая удельная производительность.

Чрезвычайно усложняет схемы очистки синтез-газа наличие значительных количеств смолы и заметных количеств фенолов. Поэтому желательно, чтобы выход летучих из этого топлива был минимальным для упрощения схемы газоочистки (при использовании газогенераторов Лурги, для газогенераторов Копперса-Тотцека это не имеет значение). Этим требованиям отвечает средне- и высокотемпературный кокс, полученный из практически любых видов твердого топлива. Разумеется, кокс должен иметь ограниченные зольность и влажность.

Представляет интерес использование избыточных мощностей КХЗ для производства кокса с целью переработки его на синтез-газ. Для этих целей могут быть использованы недефицитные марки угля, в том числе слабоспекающиеся и неспекающиеся. Получение среднетемпературного кокса позволит значительно увеличить производительность коксовых батарей по сравнению с производством металлургического кокса, но, конечно, это возможно только при наличии резерва времени у обслуживающих батарею машин. Среднетемпературный кокс может быть подвергнут газификации в простейших аппаратах с хорошо отработанным технологическим режимом. Кроме кокса, получается смола и коксовый газ. Смола является достаточно рентабельным продуктом. Коксовый газ также может быть эффективно использован, в том числе для тех же целей, что и кокс.

3. Использование газогенераторов обращенного типа малой мощности. Обращенный процесс газификации, при котором топливо движется прямооток с дутьем, а фронт горения противотоком, позволяет получить из любого вида твердого топлива газ с минимальным содержанием смолы. Мобильные установки такого типа очень широко применялись во время Второй мировой войны всеми сторонами конфликта. Их использовали для получения



горючего газа из твердого топлива (угля, торфа, дров), подаваемого в автомобильные двигатели внутреннего сгорания. При этом двигатели требовали минимальной переделки для перевода с нефтяного топлива на газ газификации. Стационарные газогенераторы такого типа использовались для снабжения потребителей с небольшим расходом газа.

Большим недостатком газогенераторов обращенного типа является их относительно малая удельная производительность и сложность конструирования аппаратов большой единичной мощности. Тем не менее, на наш взгляд, такие аппараты могут эффективно применяться в следующих случаях:

- получение топлива для двигателей внутреннего сгорания (в составе генераторов, насосов, автомобилей, тракторов и т. д.) в отдаленных районах, для которых доставка жидкого, а тем более газообразного топлива затруднена. При этом имеются значительные легкодоступные запасы местного топлива – древесина кустарников, деревьев, торф, уголь, солома;

- в различных районах в теплое время года для бытовых нужд. При высокой температуре окружающей среды дополнительные приток тепла не только не нужен, но и доставляет значительный дискомфорт. Небольшие газогенераторы позволяют, например, более целенаправленно использовать тепло твердого топлива при приготовлении пищи. Тут уместно привести такой пример. В районах, прилегающих к Сахаре, из-из значительного использования растительности в качестве топлива (и выпаса животных) происходит быстрое опустынивание значительных территорий. Дрова применяют в основном для приготовления пищи. Зачастую до сих пор для этого используют костры. При этом даже самая примитивная глиняная печка позволяет уменьшить расход топлива по сравнению с костром в ~3 раза. Бытовой газогенератор способен уменьшить эту величину еще по крайней мере в 2 раза. Актуально применение таких газогенераторов и в умеренных широтах в летнее время;

- в специальных случаях: чрезвычайные ситуации, экспедиции туристов и геологических партий, другие различные полевые условия;

- для промышленных потребителей, у которых имеются относительно небольшие потребности в горячем газе и источники дешевого твердого топлива (различная биомасса, уголь, шламы, торф и т. д.). Для этих целей наиболее целесообразно применять стационарные газогенераторы обращенного типа с движущимся слоем.

Выше мы перечислили наиболее рациональные, на наш взгляд, области применения газификации, не претендуя на абсолютную полноту. При этом мы исходили из хорошо опробованных и применяемых в промышленности процессов. Однако за последние десятилетия было разработано очень большое количество новых процессов. Вполне возможно, что с их внедрением приведенный выше перечень, и без того неполный, станет значительно шире.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шиллинг Г.-Д., Бонн Б., Краус У. Газификация угля. Пер. с нем. М.: Недра. 1986. 175 с.

2. Карягин А. В., Соловьев Г. М. Пособие для шофера третьего класса. М.: Сельхозгиз. 1955. 400 с.

3. Голицын М. В., Голицын А. М., Пронина Н. М. Альтернативные энергоносители. М.: Наука. 2004. 159 с.

УДК 621.577.62

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АВТНОНОМНЫХ БИВАЛЕНТНЫХ  
ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК  
AUTONOMOUS BIVALENT HEAT PUMP INSTALLATIONS APPLICATION  
EFFICIENCY**

**Игорь Васильевич Яковлев, Анна Михайловна Исхакова,  
Евгений Михайлович Болотин  
Igor V. Yakovlev, Anna M. Iskhakova, Evgeniy M. Bolotin**

*Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»,  
Россия, Москва*

*National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Russia, Moscow  
(e-mail: YakovlevIV@mpei.ru, iskhakovaam1993@gmail.com, bolotin.e.m@yandex.ru)*

*Аннотация:* Рассмотрены особенности применения теплонасосных установок, работающих в бивалентном режиме в различных климатических условиях. Приводятся результаты оценки энергетической и финансовой эффективности применения тепловых насосов по сравнению с традиционным теплоснабжением от централизованной тепловой сети.

*Abstract:* Heat pump installations application features working in the bivalent mode in different climatic conditions are considered. The energy and economic efficiency estimation of the heat pump application is presented in comparison with traditional heat supply from central heat networks.

*Ключевые слова:* теплонасосная установка, бивалентный режим. энергоэффективность.

*Keywords:* heat pump installation, bivalent mode, energy efficiency.

Теплонасосные установки работают в двух режимах – моновалентном и бивалентном [1-2]. В моновалентном режиме теплопроизводительность теплонасосной установки обеспечивает полную тепловую нагрузку по теплоснабжению здания. Такой режим работы возможен при относительно стабильной температуре низкопотенциального источника теплоты. В качестве такого источника теплоты может использоваться грунт, грунтовые воды, сточные воды и др. В качестве потребителей применяются низкотемпературные системы отопления, такие как теплый пол, фанкойлы.

Если в качестве источника низкопотенциальной теплоты используется, например, наружный воздух, температура которого в течение отопительного периода существенно изменяется, то теплонасосные установки нуждаются в дополнительном источнике теплоты и работают в бивалентном режиме.

В работе анализируется работа теплонасосных установок типа «воздух–вода» в бивалентном комбинированном режиме. Работа таких систем характеризуется таким параметром, как температура бивалентности – температура наружного воздуха, при которой теплопроизводительность теплонасосной установки равна актуальной отопительной нагрузке здания. При температуре наружного воздуха выше температуры бивалентности вся отопительная нагрузка обеспечивается тепловым насосом, при температуре ниже температуры бивалентности отопительная нагрузка обеспечивается совместно и тепловым насосом, и дополнительным источником теплоснабжения [2]. Возможные варианты работы теплонасосных установок в бивалентном режиме в комбинации с другими источниками теплоснабжения: тепловые насосы «воздух–вода» или «антифриз–вода» и централизованное теплоснабжение; тепловые насосы «воздух–вода» и собственная котельная; тепловые насосы «воздух–вода» и электрические котлы; тепловые насосы «антифриз–вода» или «вода–вода» и электрические котлы.

В работе рассматривается вариант работы теплонасосных установок: тепловые насосы «воздух–вода» и электрический котел. Имеет место потребление только электрической энергии парокompрессионным тепловым насосом и электрическим котлом. Цель исследования – определить оптимальную номинальную теплопроизводительность ТНУ ( $Q_{\text{ТНУ}}^{\text{НОМ}}$ ) которая задается в долях от расчетной отопительной нагрузки ( $Q_o^p$ ). Для этого вводится коэффициент обеспеченности отопительной нагрузки:

$$a = \frac{Q_{\text{ТНУ}}^{\text{НОМ}}}{Q_o^p},$$

где  $Q_{\text{ТНУ}}^{\text{НОМ}}$  – номинальная теплопроизводительность теплонасосной установки (при температуре наружного воздуха равной  $+7^\circ\text{C}$ ), кВт;  $Q_o^p$  – расчетная отопительная нагрузка, кВт. Оптимальные условия подразумевают минимум затрат энергоресурсов (в условном топливе) и минимум финансовых затрат по оплате потребляемых энергоресурсов. Суммарное потребление энергоресурсов (в условном топливе) и суммарные затраты по оплате затраченных энергоресурсов сравнивается с базовым потреблением и затратами при условии теплоснабжения только от централизованной тепловой сети. Расчеты проводились для объектов теплоснабжения, расположенных в различных климатических зонах, но имеющих одинаковую расчетную отопительную нагрузку  $Q_o^p$ . Для расчетов применялись зависимости теплопроизводительности и коэффициента преобразования энергии для одного из типовых тепловых насосов [4]. Вычисление потребления тепловой энергии за отопительный период объектом теплоснабжения от централизованной тепловой сети (базовое потребление), выполняется по формуле:

$$Q_{\text{оп}} = Q_o^p \cdot \frac{t_b^p - t_n^{\text{cp}}}{t_b^p - t_n^p} \cdot n_{\text{оп}} = Q_o^p \cdot \frac{t_b^p - t_n^{\text{cp}}}{t_b^p - t_n^p} \sum_{i=1}^N n_i,$$

где  $t_n^{\text{cp}}$  – средневзвешенная температура наружного воздуха за отопительный период,  $n_{\text{оп}}$  – длительность отопительного периода, ч.

Первоначально из архива погоды для рассматриваемого климатического района копируется массив данных  $t_{nj}$  ( $j=1, \dots, M$ ) [3].

Интервал измерения температуры наружного воздуха составляет  $\Delta\tau=3$  часа (8 измерений в сутки). Массив данных  $t_{nj}, j=1, 2, \dots, M$ , охватывает температурный диапазон от расчетной температуры наружного воздуха до температуры  $+8^\circ\text{C}$ :

$$t_n^p \leq t_{nj} \leq t_n = 8^\circ\text{C}.$$

Весь температурный диапазон разбивался на интервалы, каждый из которых составлял  $3^\circ\text{C}$ . Количество таких интервалов равно  $N$ . Проводилась выборка температур из массива данных  $t_{nj}, j=1, 2, \dots, M$ , попадающих в указанные интервалы. В результате имеем  $N$  массивов температур:  $t_{nk}, k=1, 2, \dots, N_1, t_{nk}, k=1, 2, \dots, N_2, t_{nk}, k=1, 2, \dots, N_i$ . Для указанных массивов вычислялась длительность по времени стояния средневзвешенных температур для данного массива (часов) и средневзвешенная температура наружного воздуха:

$$n_i = \Delta\tau \cdot (N_i - 1) \quad i=1 \dots N$$

$$t_{ni}^{\text{cp}} = \frac{\sum_{k=1}^{N_i} (t_{nk} n_k)}{\sum_{k=1}^{N_i} n_k}.$$

Средневзвешенная температура за отопительный период вычисляется, как:

$$t_n^{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^N (t_{ni}^{\text{cp}} n_i)}{\sum_{i=1}^N n_i}$$

Согласно [4] выделялись три периода работы системы теплоснабжения от ТНУ и электрического котла в зависимости от температуры наружного воздуха. Первый (I) период ( $t_n^p \leq t_{ni}^{\text{cp}} \leq t_{n2}$ ): тепловая нагрузка обеспечивается потреблением теплоты от электрического котла. Второй (II) период ( $t_{n2} < t_{ni}^{\text{cp}} \leq t_{n1}$ ): тепловая нагрузка обеспечивается работой

воздушной ТНУ и электрическим котлом  $Q_0 = Q_{\text{ТНУ}} + Q_{\text{тс}}$ . Третий (III) период ( $t_{\text{н1}} < t_{\text{нi}}^{\text{cp}}$ ): в данном периоде тепловая нагрузка обеспечивается только ТНУ  $Q_0 = Q_{\text{ТНУ}}$ . Для каждого из периодов потребленной электрической энергии, кВт ч, проводился по нижеследующим формулам:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}^I &= Q_0^{\text{p}} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{t_{\text{в}}^{\text{p}} - t_{\text{н1}}^{\text{cp}}}{t_{\text{в}}^{\text{p}} - t_{\text{н}}^{\text{p}}} \sum_{i=1}^{N_1} n_i, \quad t_{\text{н}}^{\text{p}} \leq t_{\text{нi}}^{\text{cp}} \leq t_{\text{н2}}, \\ \mathcal{E}^{\text{II}} &= Q_0^{\text{p}} \cdot \left( \sum_{i=1}^{N_2} \frac{a \bar{Q}_{\text{ТНУ}}(t_{\text{нi}}^{\text{cp}})}{\bar{\mu}(t_{\text{нi}}^{\text{cp}}) \cdot \mu^{\text{ном}}} n_i + \frac{1}{\eta} \cdot \frac{t_{\text{в}}^{\text{p}} - t_{\text{н2}}^{\text{cp}}}{t_{\text{в}}^{\text{p}} - t_{\text{н}}^{\text{p}}} \cdot \sum_{i=1}^{N_2} n_i - \frac{a}{\eta} \sum_{i=1}^{N_2} (\bar{Q}_{\text{ТНУ}}(t_{\text{нi}}^{\text{cp}}) n_i) \right), \quad t_{\text{н2}} < t_{\text{нi}}^{\text{cp}} \leq t_{\text{н1}}, \\ \mathcal{E}^{\text{III}} &= Q_0^{\text{p}} \cdot \sum_{i=1}^{N_3} \left( \frac{1}{\bar{\mu}(t_{\text{нi}}^{\text{cp}}) \cdot \mu^{\text{ном}}} \cdot \frac{t_{\text{в}}^{\text{p}} - t_{\text{нi}}^{\text{cp}}}{t_{\text{в}}^{\text{p}} - t_{\text{н}}^{\text{p}}} \cdot n_i \right), \quad t_{\text{н1}} < t_{\text{нi}}^{\text{cp}}, \end{aligned}$$

где  $\bar{\mu}$  – относительный коэффициент трансформации энергии;  $\mu^{\text{ном}}$  – номинальный коэффициент трансформации энергии (при температуре наружного воздуха  $7^{\circ}\text{C}$ );  $\bar{Q}_{\text{ТНУ}}(t_{\text{нi}})$  – относительная (отнесенная к номинальной) теплопроизводительность ТНУ;  $N_1$  – количество температурных интервалов со средней температурой наружного воздуха  $t_{\text{н}}^{\text{p}} \leq t_{\text{нi}}^{\text{cp}} \leq t_{\text{н2}}$ ;  $N_2$  – количество температурных интервалов со средней температурой наружного воздуха  $t_{\text{н2}} < t_{\text{нi}}^{\text{cp}} \leq t_{\text{н1}}$ ;  $N_3$  – количество температурных интервалов со средней температурой наружного воздуха  $t_{\text{н1}} < t_{\text{нi}}^{\text{cp}}$ ;  $N$  – суммарное количество температурных интервалов ( $N = \sum_{i=1}^3 N_i$ );  $t_{\text{н}}^{\text{cp}}$  – средневзвешенная температура за соответствующий период (нижний индекс),  $^{\circ}\text{C}$ ;  $n_i$  – длительность интервала со средневзвешенной температурой  $t_{\text{нi}}^{\text{cp}}$  в часах;  $t_{\text{н2}}$  – предельно низкая температура наружного воздуха, при которой происходит отключение ТНУ;  $t_{\text{н1}}$  – температура наружного воздуха в точке бивалентности, при которой теплопроизводительность ТНУ равна отопительной нагрузке потребителя. Температуры  $t_{\text{н1}}^{\text{cp}}$  и  $t_{\text{н2}}^{\text{cp}}$  определяются, как

$$t_{\text{н1}}^{\text{cp}} = \left( \sum_{i=1}^{N_1} t_{\text{нi}}^{\text{cp}} \cdot n_i \right) / \sum_{i=1}^{N_1} n_i, \quad t_{\text{н2}}^{\text{cp}} = \left( \sum_{i=1}^{N_2} t_{\text{нi}}^{\text{cp}} \cdot n_i \right) / \sum_{i=1}^{N_2} n_i.$$

Относительное потребление электрической энергии в условном топливе при совместной работе ТНУ и электрического котла (отнесенное к базовому потреблению теплоты от тепловой сети):

$$\bar{F}_y = F_y / Q_{\text{от}} = \frac{b_3}{0,86 \cdot b_Q} \cdot \frac{\sum_{j=1}^{\text{III}} \mathcal{E}^j}{Q_0^{\text{p}} \cdot \frac{t_{\text{в}}^{\text{p}} - t_{\text{н}}^{\text{cp}}}{t_{\text{в}}^{\text{p}} - t_{\text{н}}^{\text{p}}} \sum_{i=1}^N n_i} = \bar{b} \cdot \frac{\sum_{j=1}^{\text{III}} \mathcal{E}^j}{Q_0^{\text{p}} \cdot \frac{t_{\text{в}}^{\text{p}} - t_{\text{н}}^{\text{cp}}}{t_{\text{в}}^{\text{p}} - t_{\text{н}}^{\text{p}}} \sum_{i=1}^N n_i},$$

где  $b_3$  – удельный расход топлива на производство 1000 кВт ч электроэнергии ( $b_3 = 0,3445$  т у.т./1000 кВт ч),  $b_Q$  – удельный расход условного топлива на производство 1 Гкал теплоты ( $b_Q = 0,1486$  т.у.т./ Гкал),  $\sum_{j=1}^{\text{III}} \mathcal{E}^j$  – суммарный расход электрической энергии за отопительный период в кВт·ч.

Финансовые затраты по оплате энергоресурсов, потребляемых при совместной работе ТНУ и электрического котла, руб., вычислялись по формуле:

$$\Phi^{\Sigma} = 10^{-3} \cdot \Pi_{\text{э}} \cdot \sum_{j=1}^{\text{III}} \mathcal{E}^j,$$

а финансовые затраты по оплате тепловой энергии при работе только от тепловой сети (базовый уровень), как:

$$\Phi_{\text{от}} = 10^{-3} \cdot 0,86 \cdot Q_{\text{от}} \cdot \Pi_Q$$

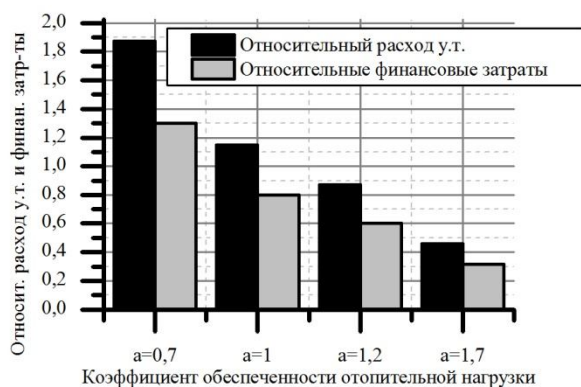
где  $\Pi_{\mathcal{E}}$  – тариф на электрическую энергию, руб./1000 кВт ч ;  $\Pi_Q$  – тариф на тепловую энергию, руб./Гкал [5],  $\mathcal{E}$  – расход электрической энергии, кВт·ч;  $Q_{\text{от}}$  – расход тепловой энергии, кВт·ч. Относительные затраты по оплате электрической энергии при совместной работе ТНУ и электрического котла (отнесенные к базовым затратам при работе только от тепловой сети):

$$\bar{\Phi} = \frac{\Pi_{\mathcal{E}}}{0,86 \cdot \Pi_Q} \frac{\sum_{j=1}^{\text{III}} \mathcal{E}^j}{Q_{\text{от}}} = \bar{\Pi} \frac{\sum_{j=1}^{\text{III}} \mathcal{E}^j}{Q_o^p \cdot \frac{t_B^p - t_H^{\text{cp}}}{t_B^p - t_H^p} \sum_{i=1}^N n_i}$$

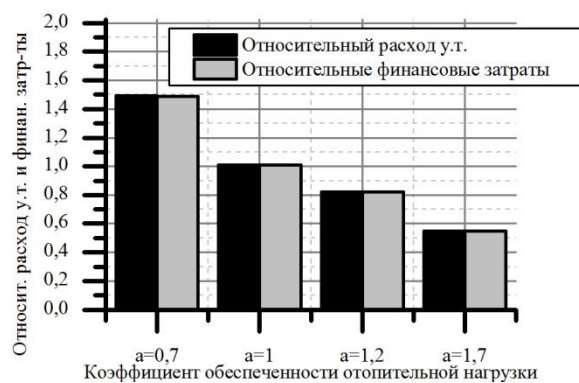
Результаты расчетов для двух населенных пунктов, расположенных в различных климатических зонах представлены на рис.1-2. Результаты расчетов для других климатических условий представлены в [4]. В расчетах использовались данные, приведенные в табл. 1. Температура в точке бивалентности ( $t_{\text{H1}}$ ) изменялась в зависимости от значения параметра  $a$ , например, эта температура при значении  $a=0,7$  составляла  $-7,3$  °С (Ростов- на -Дону) и  $-8,8$  °С (Владивосток).

**Таблица 1. Данные для расчета.**

Пункт	$t_B^p$ , °С	$t_H^p$ , °С	$t_{\text{H2}}$ , °С	$t_H^{\text{cp}}$ , °С	$\frac{b_3}{0,86 \cdot b_Q}$	$\frac{\Pi_{\mathcal{E}}}{0,86 \cdot \Pi_Q}$
Владивосток	20	-23	-20	-4,3	2,70	1,87
Ростов на Дону	20	-19	-20	-0,1	2,70	2,69



а)



б)

**Рис.1. Относительный расход топлива и финансовых затрат по оплате потребленных энергетических ресурсов в зависимости от обеспеченности отопительной нагрузки потребителя для климатических условий г. Владивосток (а) и г. Ростов –на –Дону (б).**

■ – расход условного топлива.

Как следует из расчетных формул, поскольку номинальная теплопроизводительность ТНУ задается в долях от расчетной отопительной нагрузки, относительные расходы энергетических ресурсов и финансовых затрат не зависят от значения расчетной отопительной нагрузки. Поэтому результаты справедливы независимо от абсолютного значения  $Q_o^p$ .

#### **Выводы.**

На потребление энергоресурсов и эксплуатационные затраты существенное влияние оказывают следующие факторы: теплопроизводительность и коэффициент преобразования энергии ТНУ в зависимости от температуры источника теплоты; график стояния средних температур для климатической зоны, в которой расположен потребитель теплоты; соотношение удельных расходов топлива на производство электрической и тепловой

энергии  $\bar{b}$  (в расчетах задавалось средневзвешенное значение); соотношение тарифов на электрическую и тепловую энергию  $\bar{C}$ .

Обеспечение запаса по номинальной теплопроизводительности ТНУ позволяет сдвинуть точку бивалентности в область более низких температур, что дает возможность снизить потребление электрической энергии за счет снижения потребления электрическим котлом. В электрическом котле в тепловую энергию преобразуется  $\eta=95\%$  электрической энергии, в отличие от ТНУ, для которого коэффициент преобразования энергии в теплоту составляет не менее 1,5. Расходы топлива и финансовые затраты на эксплуатацию при переходе на автономное теплоснабжение от ТНУ и электрических котлов становятся сопоставимыми с аналогичными показателями при теплоснабжении от централизованной тепловой сети, если номинальная теплопроизводительность ТНУ задается в пределах 1...1,2 от  $Q_0^p$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппов С.П., Ионов М.С., Дильман М.Д. Перспективы применения тепловых насосов для теплоснабжения жилых зданий в различных климатических условиях // Теплоэнергетика. 2012. №11. С 11-18.

2. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. Информационно -методическое издание. – М.: Издательство «Перо», 2017, -204 с.

3. Сайт архива погоды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru//>

4. Яковлев И.В., Исхакова А.М., Парёхина И.В. Энергоэффективность перехода на автономное теплоснабжение от воздушных теплонасосных установок в климатических условиях России // Вестник МЭИ, 2016. №5, с. 105-112.

5. Сайт тарифов на электроэнергию. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://newtariffs.ru/tariff/tarify-na-elektricheskuyu-energiyu-dlya-naseleniya-kirovskoi-oblasti-deistvuyushchie-s-1-iyu-1>

УДК 005.591.6:338.436.33(476)

### ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ POWER - AND RESOURCE-SAVING IN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF REPUBLIC OF BELARUS

**Ирина Михайловна Нестерова**  
**Irina M. Nesterova**

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Республика Беларусь, Горки*  
*Belarusian state agricultural academy, Republic of Belarus, Gorky*  
*(e-mail: nesterova2233@mail.ru)*

*Аннотация:* Рассмотрены основные направления разработки и внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий в агропромышленном комплексе Республики Беларусь.

*Abstract:* The main directions of development and deployment power - and resource-saving technologies in agro-industrial complex of Republic of Belarus are considered.

*Ключевые слова:* энерго- и ресурсосберегающие, адаптивные, инновационные, экологически безопасные технологии, эффективность функционирования предприятий агропромышленного комплекса.

*Keywords:* power - and resource-saving, adaptive, innovative, ecologically safe technologies, efficiency of functioning of the enterprises of agro-industrial complex.

Агропромышленный комплекс (АПК) Республики Беларусь является одной из наиболее значимых отраслей ее экономики, поэтому его развитию уделяется самое пристальное внимание [1].

Как показали материалы исследований, в развитии сельского хозяйства Беларуси и отраслей, перерабатывающих его сырье, в последние годы достигнуты существенные результаты. Так благодаря реализации Государственных программ возрождения и развития села на 2005–2010 гг. [2] и устойчивого развития села на 2011–2015 гг. [3] существенно модернизирована материально-техническая база аграрной отрасли и перерабатывающей промышленности, усовершенствовано государственное регулирование агропромышленного производства. Несколько десятилетий назад начала развиваться сельскохозяйственная биотехнология, основанная на методах молекулярной биологии, по сути, на ДНК-технологиях. За это время возникло много новых направлений исследований, таких как картирование главных генов количественных признаков, селекция с помощью молекулярно-генетических маркеров, получение генетически модифицированных организмов, селекционные программы по накоплению желательных генов в одном геноме [4]. Все это позволило нарастить объемы производства продуктов растениеводства, животноводства и их промышленной переработки [5].

Вместе с тем, проблема повышения эффективности функционирования предприятий АПК Беларуси остается нерешенной. И решить ее можно лишь за счет внедрения на предприятиях АПК прорывных инновационных технологий и новейших научных разработок. Ведь в современном мире технологическое лидерство государств во многом определяют именно инновации. Они способствуют появлению перспективных продуктов и услуг и даже меняют уклад жизни общества.

Эта работа в республике уже ведется. Разработаны и внедрены адаптивные ресурсосберегающие, экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, которые обеспечивают снижение ресурсных и энергетических затрат. Однако имеющийся технологический разрыв предприятий АПК Беларуси в сравнении с экономически развитыми странами оценивается специалистами в 15–20 лет. Поэтому, чтобы создать конкурентоспособные сельскохозяйственное и перерабатывающее производства, способные обеспечить внутренние потребности страны и наращивать экспортный потенциал продовольствия, необходимо существенно ускорить работу в этом направлении.

И ученые работают над этим. **В растениеводстве** они усовершенствуют технологии точного земледелия; создают высокопродуктивные сорта и гибриды, адаптированные к различным зональным особенностям республики, с потенциальной урожайностью зерновых 100–120 ц/га; внедряют технологии по биологизации земледелия и производству органической продукции; разрабатывают технологии дражирования семян злаковых, бобовых и технических культур, с нанесением на них удобрений, микро- и макроэлементов на основе гуматов, встроенных в матрицу полифункционального полимера с пролонгированным периодом действия («умные удобрения»); внедряют технологии СВЧ-обработки семян злаковых, бобовых и технических культур; внедряют технологии селективной очистки семян злаковых и бобовых культур с использованием лазерно-оптических систем; развивают информационные системы для обеспечения организации и контроля выполнения технологических процессов в растениеводстве с использованием ГИС-технологий и ОР8-навигации; разрабатывают технологические приемы реабилитации техногенно загрязненных сельскохозяйственных земель с применением многофункциональных полимерных сорбентов и целый ряд других.

**В животноводстве:** на основе применения новейших методов селекции и разведения, а также достижений науки по трансплантации эмбрионов и ДНК-технологиям, доводят продуктивность в селекционных стадах: удоев от одной коровы до 15–16 тыс. кг в год, среднесуточных привесов крупного рогатого скота – до 2 кг, свиней – более 1 кг; усовершенствуют технологи автоматизированного индивидуального кормления; внедряют

технологии кавитационной обработки и приготовления кормовых смесей для свиней и телят на основе наноструктурированной воды.

Дальнейшее развитие *перерабатывающих сельскохозяйственное сырье организаций* республики будет осуществляться путем дальнейшей модернизации технического переоснащения, реализации мер по сертификации, внедрению систем менеджмента безопасности пищевых продуктов и управления их качеством. Основными направлениями деятельности молоко- и мясоперерабатывающих организаций будут: применение современных технологических решений в комплексной переработке молока и мяса, максимальное использование в переработке компонентов животноводческого сырья, рост производства продукции с высокой добавленной стоимостью, полуфабрикатов с высокой степенью готовности, готовых блюд и кулинарных изделий с привлечением новых видов пищевого сырья. Организации хлебопродуктов будут ориентированы на обеспечение населения республики широким ассортиментом качественной конкурентоспособной хлебобулочной продукции, увеличение объемов производства импортозамещающих кондитерских и макаронных изделий с целью замещения объемов импорта и увеличения их экспортных поставок.

*В отраслях промышленности, производящих средства производства для сельского хозяйства, перерабатывающих и обслуживающих отраслей АПК:* создание отечественных высокопроизводительных комплексов и систем машин и оборудования, соответствующих по качеству, надежности и ресурсосбережению лучшим зарубежным аналогам, что позволит повысить производительность труда в организациях АПК в 1,4–1,5 раза. Для обеспечения растущей потребности общественного животноводства в гранулированных комбикормах запланирована модернизация и техническое переоснащение комбикормовых производств, что позволит увеличить мощности по их производству и улучшить качество.

Для решения задач научно-технического и инновационного развития Беларуси, в том числе и предприятий АПК, Президентом утверждены приоритетные направления научно-технической деятельности и разработаны программные документы [6, 7].

В ходе выполнения научно-технических программ в 2011–2015 годах уже достигнуты значительные результаты. Так, по сравнению с предыдущей пятилеткой объем выпуска продукции увеличился более чем в 2 раза – до 10,7 млрд. долларов. Значительно возросло и количество освоенных инноваций: если в 2006–2010 годах их было около 8 тыс., то по итогам 2011–2015 годов – почти 9,5 тыс. новшеств. Увеличился и коэффициент эффективности с 19 до 48, то есть более чем в 2,5 раза. Таким образом, на каждый рубль бюджетных средств получено 48 рублей от реализации продукции, выпущенной по результатам научно-технических программ. В итоге только НДС было уплачено на сумму 1,9 млрд. долларов. В ходе выполнения научно-технических программ в Беларуси ежегодно внедряется от 3 до 5 инноваций мирового уровня.

На период 2016–2020 годов сформированы 17 государственных научно-технических программ (ГНТП), ориентированных на разработку продукции с использованием технологий и производств, относящихся к У–У<sup>□</sup> технологическим укладам. А по программе «Промышленные био- и нанотехнологии» проводятся работы по созданию технологий серийного выпуска изделий количественного определения в кормах и продовольствии микотоксинов, которые представляют серьезную угрозу для здоровья животных и человека.

Ожидается, что к 2020 году одним из результатов выполнения государственных научно-технических программ станет выпуск инновационной продукции на сумму свыше 7 млрд. рублей. Начата работа над созданием более 1,2 тыс. новшеств, в том числе более 350 наименований машин, не менее 40 наименований материалов и веществ, более 200 технологических процессов, более 180 автоматизированных систем и комплексов, около 60 сортов растений и пород животных. Доля экспорта наукоемкой и высокотехнологичной продукции в общем объеме белорусского экспорта к 2020 году должна составить 33 %.

В 2017 году, объявленном в Беларуси Годом науки, ставится цель улучшить условия



для работы ученых, для воплощения идей и разработок, превращения их в товар, а также по привлечению молодежи в науку. Для ее реализации до 20 % от общего финансирования планируется направить на прорывные, потенциально самые прибыльные проекты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. О проблемах развития и направлениях реформирования АПК Беларуси на современном этапе. Минск: Беларусь, 2014. – 126 с.
2. Государственная программа возрождения и развития села на 2005–2010 годы. Минск: – Беларусь, 2005. – 96 с.
3. Государственная программа устойчивого развития села на 2011–2015 годы. – Минск: Беларусь, 2010. – 151 с.
4. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by>. Дата доступа 12.02.2017.
5. Сельское хозяйство Республики Беларусь 2016: Статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2016. – 227 с.
6. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы. Минск: – Беларусь, 2010. – 240 с.
7. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы. Минск: – Беларусь, 2015. – 45 с.

УДК 621.31.083

### **К ВОПРОСУ ВЫБОРА ОЧЕРЕДНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ В СИСТЕМАХ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ TO THE QUESTION OF SELECTION OF THE NEXTITY OF ENERGY-SAVING ACTIVITIES IN WATER HEATING SYSTEMS OF BUILDINGS**

**Николай Иванович Малин, Юлия Александровна Кузнецова  
Nikolay I. Malin, Iulia A. Kuzneczova**

*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени  
К. А. Тимирязева, Россия, Москва  
Russian state agrarian University – MAA after K. A. Timiryazev, Russia, Moscow  
(e-mail: mali\_nik@mail.ru, iuliacuzneczova@yandex.ru)*

*Аннотация:* Рассмотрены методы и критерии оценки эффективности единичных и комплексных энергосберегающих мероприятий. Показана некорректность процентной оценки эффективности энергосберегающих мероприятий, при использовании которой возможен различный энергосберегающий эффект их одновременной и поэтапной реализации; при этом первоочередные (внедряемые в первую очередь) мероприятия имеют максимально возможный потенциал. В качестве показателя энергоэффективности предложено использовать абсолютную величину энергосбережения в привязке либо к объему, либо к площади отапливаемого помещения.

*Abstract:* The methods and criteria of estimation of efficiency of single and complex energy saving measures. Shown the incorrectness of interest evaluation of the effectiveness of energy saving measures using a possible time-a personal energy-saving effect their simultaneous and gradual implementation; at the same priority (implemented in the first place) of the event have the maximum possible potential. As an indicator of energy efficiency is proposed to use the absolute value of energy saving with reference to either the volume or the area of heated space.

*Ключевые слова:* методы, критерии, энергосберегающие мероприятия, потенциал энергосбережения, очередность реализации.

*Keywords:* methods, criteria, energy-saving measures, energy saving potential, priority of implementation.

В теплоэнергетике важной составляющей статей расхода топливно-энергетических

ресурсов являются затраты в системах водяного отопления жилых, общественно-бытовых, административных и производственных зданий, снабжаемых теплоносителем от ТЭЦ, производственных, районных, квартальных, групповых и местных котельных. Наличие ряда нерешенных вопросов в решении проблемы энергосбережения на основе реализации мероприятий по энергосбережению в системах водяного отопления зданий послужило основанием для проведения исследований в соответствии со сформулированной в названии доклада задачей.

Начальным этапом исследований явился анализ методов и критериев оценки эффективности проведения энергосберегающих мероприятий в теплогенерирующих установках (ТГУ), водяных тепловых сетях и абонентских отопительных приборах.

Результаты этого этапа исследований показали большое разнообразие методов и критериев оценки энергетической эффективности энергетических объектов, в том числе систем теплоснабжения (и водяного отопления зданий). Выявлено, что устанавливаемые исследователями величины используемых критериев зачастую привязаны к конкретным объектам, а потому не могут быть использованы для оценки их сравнительной энергоэффективности.

С учетом вывода о необходимости использования более совершенной методики, основанной на сравнении получаемого эффекта с нормативной величиной, проведен анализ методов нормирования и расчета потребности энергетических ресурсов в котельных, тепловых сетях, зданиях и сооружениях. Установлено наличие комплекса нормативных документов и изложенных в них методологий расчета нормативов расходования энергетических ресурсов в системах теплоснабжения зданий и сооружений, по цепочке: ТГУ — тепловая сеть — абонентские отопительные приборы.

Несомненно важными являются методики расчета нормативов расходования энергоресурсов в ТГУ [1], [2], [3], однако они предусматривают наличие ряда допущений и использование практических результатов либо испытаний либо эксплуатации.

Неплохо отработана, хотя и представляет определенные трудности, методология определения потерь тепловой энергии через теплоизоляционные элементы теплопроводов, а также вследствие потерь теплоносителя [4], [5]. Несомненно важным является наличие норм потерь теплоты в теплопроводах, определяемых по плотности тепловых потоков при различных методах прокладки трубопроводов различных диаметров (с различными  $D_y$ ) и при различных температурах теплоносителя.

Наиболее детально представлены методологии определения нормативов расхода теплоты в системах водяного отопления (и вентиляции) для жилых и общественных зданий, а также отопления и вентиляции для промышленных зданий [6], [7]. Представленные в нормативных документах отопительные характеристики можно использовать в условиях проектирования при тепловых расчетах по так называемым укрупненным показателям. Что касается фактических удельных норм расхода тепловой энергии, то для их расчета необходимо проведение дополнительных расчетов, базирующихся на фактических данных по тепловым потерям и мощности системы отопления конкретного объекта (здания).

Дальнейшим анализом литературы установлено четыре основных направления использования мероприятий по энергосбережению, в соответствии с которыми дана их детальная характеристика, включающая [8]: мероприятия по повышению термического сопротивления ограждающих конструкций зданий; утилизацию теплоты вытяжного вентиляционного воздуха; регулирование и автоматизацию работы оборудования водяных систем теплоснабжения; работы по реконструкции и эксплуатации водяных систем теплоснабжения.

С учетом важности работы во всех четырех направлениях, рассмотрены разрабатываемые на различных уровнях программы энергосбережения; дан детальный анализ основной литературы, освещающей эффективность разного рода мероприятий по повышению энергоэффективности водяных систем теплоснабжения (и отопления).

Выявлен большой разброс цитируемых разными авторами данных по

энергоэффективности однотипных энергосберегающих мероприятий. Ряд данных, опубликованных в основном аудиторскими организациями, не выдерживает никакой критики. Если просуммировать приведенную в некоторых источниках информацию по предельной эффективности отдельных (причем не взаимоисключающих друг друга) мероприятий, то получится экономия тепловой энергии порядка 200...300%. Это лишний раз показывает, насколько критично следует реагировать на разного рода информацию, публикуемую ради привлечения заказчиков на аудиторские услуги. Наибольшей достоверностью характеризуются данные ЗАО «Технопромстрой» и МЭИ [1], АКХ им. К.Д. Памфилова [9] и фирмы «Данфосс» [10].

Дальнейшими исследованиями установлена целесообразность использования универсальных критериев оценки эффективности единичных и комплексных энергосберегающих мероприятий. Простой логический анализ показал наличие подлежащих решению таких задач, как:

исключение возможности одновременного сочетания некоторых (широко рекламируемых различными аудиторскими организациями) и взаимоисключающих друг друга мероприятий, совокупный учет которых, по незнанию, при предварительной оценке совокупной эффективности комплекса отдельных мероприятий может привести к величине экономии тепловой энергии близкой к 100% (и выше);

оценка эффекта одновременного внедрения комплекса показателей, с привязкой их эффективности к базовому варианту, т.е. до реконструкции, для получения при предварительных расчетах более высоких значений экономии ТЭР, а следовательно, и более предпочтительных экономических показателей (характер затрат и срок их окупаемости);

выявление возможности получения различного эффекта по экономии ТЭР поэтапного внедрения комплекса  $i$ -х энергосберегающих мероприятий при различной последовательности внедрения даже на одинаковых объектах: больший, при включении их в разряд первоочередных, и меньший — при включении их в разряд замыкающих;

установление корректности (или некорректности) представления информации об энергоэффективности энергосберегающих мероприятий в процентах;

Для решения перечисленных задач предложено использовать нижеперечисленную последовательность расчетов по формулам (1)...(7).

Вначале рассчитываем фактическую отопительную (и вентиляционную) характеристику здания  $q_o^\Phi$ , Вт/(м<sup>3</sup>·°С):

$$q_o^\Phi = \frac{\Phi_T}{V_H (t_B - t_{H.O})}, \quad (1)$$

где  $\Phi_T$  — теплопотери здания через ограждающие конструкции, Вт;  $V_H$  — объем здания по наружным размерам, м<sup>3</sup>;  $t_B$ ,  $t_{H.O}$  — температура, соответственно внутри помещения и наружная, для отопления, °С.

Далее, с учетом (1) рассчитываем фактическую мощность системы отопления здания  $\Phi_o^\Phi$ , Вт:

$$\Phi_o^\Phi = q_o^\Phi V_H (t_B - t_{H.O}) k_t. \quad (2)$$

где  $k_t$  — коэффициент, учитывающий влияние температуры наружного воздуха на тепловые потери за счет инфильтрации (нормируемая величина для жилых и общественных, а также промышленных зданий).

С учетом (2) определяем средний за отопительный сезон фактический часовой расход теплоты  $Q_o^{cp}$  (кДж / ч) на отопление и вентиляцию жилых, общественных и производственных зданий (последних — только по отопительной нагрузке):

$$Q_o^{cp} = 3,6 \Phi_o^{\phi} \cdot \frac{t_B - t_{H.O}^{cp}}{t_B - t_{H.O}}, \quad (3)$$

где  $t_{H.O}^{cp}$  — средняя за отопительный сезон температура наружного воздуха, °С.

С учетом (3) рассчитываем фактический годовой расход теплоты  $Q_o^{\phi.\Gamma}$  (ГДж) на отопление указанных типов зданий:

$$Q_o^{\phi.\Gamma} = 10^{-6} Q_o^{cp} n_o, \quad (4)$$

где  $n_o$  — продолжительность отопительного периода, час.

Эффективность  $i$ -го энергосберегающего мероприятия оценивали показателями [11]: потенциал энергосбережения  $\mathcal{E}$  (%) и относительный потенциал энергосбережения  $\varepsilon = \mathcal{E} / 100$  (в долях единицы).

Для случая одновременного внедрения комплекса мероприятий совокупный эффект определяли простым арифметическим сложением относительных  $i$ -х потенциалов энергосбережения, с привязкой получаемого совокупного результата к базовому варианту, т.е. до реконструкции, по формуле:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i = \sum_{i=1}^n \frac{Q_o^{\phi.\Gamma} - Q_{o(i)}^{\phi.\Gamma}}{Q_o^{\phi.\Gamma}}, \quad (5)$$

где  $Q_{o(i)}^{\phi.\Gamma} = Q_o^{\phi.\Gamma} - \varepsilon_i \cdot Q_o^{\phi.\Gamma} = Q_o^{\phi.\Gamma} (1 - \varepsilon_i)$  — фактические годовые расходы теплоты на отопление после одновременного внедрения  $i$ -х энергосберегающих мероприятий, ГДж.

Для случая последовательного (поэтапного) внедрения комплекса мероприятий, совокупный эффект также получали простым арифметическим сложением относительных  $i$ -х потенциалов энергосбережения, но только с привязкой каждого получаемого  $i$ -го результата к предшествующему варианту, т.е. перед внедрением  $i$ -го мероприятия, по формуле:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \left( \varepsilon_i \cdot \frac{Q_{o(i-1)}^{\phi.\Gamma}}{Q_o^{\phi.\Gamma}} \right) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_{o(i-1)}^{\phi.\Gamma} - Q_{o(i)}^{\phi.\Gamma}}{Q_{o(i-1)}^{\phi.\Gamma}} \cdot \frac{Q_{o(i-1)}^{\phi.\Gamma}}{Q_o^{\phi.\Gamma}} \right), \quad (6)$$

где  $Q_{o(i)}^{\phi.\Gamma} = Q_{o(i-1)}^{\phi.\Gamma} - \varepsilon_i \cdot Q_{o(i-1)}^{\phi.\Gamma} = Q_{o(i-1)}^{\phi.\Gamma} (1 - \varepsilon_i)$  — фактические годовые расходы теплоты на отопление после последовательного внедрения  $i$ -х энергосберегающих мероприятий, ГДж.

Независимо от варианта (одновременного, или поэтапного) внедрения комплекса мероприятий суммарный эффект экономии тепловой энергии  $\sum \Delta Q$  (ГДж) составляет:

$$\sum \Delta Q = \varepsilon \cdot Q_o^{\phi.\Gamma} \quad (7)$$

Результаты расчетов по формулам (5), (6) и (7), проведенных с целью оценки влияния очередности внедрения  $i$ -х энергосберегающих мероприятий (с различными значениями  $\varepsilon_i$ ) на эффективность энергосбережения сведены в нижеприведенную таблицу 1:

Проведенные расчеты наглядно показали, что первоочередные (внедряемые в первую очередь) мероприятия имеют максимально возможный потенциал, так как базой сравнения для них служат исходные данные по годовому расходу тепловой энергии на отопление. Все последующие мероприятия характеризуются снижением потенциала, так как базой сравнения для них служат более низкие значения годового расхода тепловой энергии на отопление.

**Таблица 1. Экономия тепловой энергии  $\Delta Q$  (ГДж) при различных вариантах использования энергосберегающих мероприятий**

Вариант расчета	Экономия тепловой энергии $\Delta Q$ (ГДж) при различных значениях $\varepsilon_i$			$\varepsilon$	$\Sigma \Delta Q$ , ГДж
	0,05	0,10	0,15		
<i>Одновременное внедрение комплекса <math>i</math>-х мероприятий при <math>Q_o^{\Phi, \Gamma} = 100 \text{ ГДж} = \text{const}</math></i>					
0,05 + 0,10 + 0,15	5	10	15	0,3	30,00
<i>Поэтапное внедрение комплекса <math>i</math>-х мероприятий при переменной базе сравнения</i>					
0,05 → 0,10 → 0,15	5,0	9,5	12,82	0,2732	27,32
0,15 → 0,10 → 0,05	3,82	8,5	15,0	0,2732	27,32
0,15 → 0,05 → 0,10	4,25	8,07	15,0	0,2732	27,32

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что один и тот же показатель эффективности даже на примере одного и того же объекта может привести к совершенно различным конечным результатам, что неестественно, и приводит к мысли о неправильном подходе по привязке к различным базам сравнения. Очевидно, что база сравнения должна быть неизменной, а таким показателем могут быть только абсолютная величина энергосбережения в привязке либо к объему, либо к площади отапливаемого помещения, МВт/[м<sup>3</sup>(м<sup>2</sup>)·год].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: Учебник для вузов / О.Л. Данилов, А.Б. Гаряев, И.В. Яковлев [и др.]; под ред. А.В. Клименко. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. 424 с.
2. Методические указания по определению расходов топлива, электроэнергии и воды на выработку теплоты отопительными котельными коммунальных теплоэнергетических предприятий. М.: ГУП АКХ им. К.Д. Памфилова, 2002. 261 с.
3. Рудобашта С.П. Теплотехника: Учебник. 2-е изд. доп. М.: Изд-во «Перо», 2015. 672 с.
4. Порядок расчета и обоснования нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии. Утвержден Минпромэнерго РФ 04.10.2005, №265. 36 с.
5. СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. М.: Минрегион России, 2012. 83 с.
6. ГОСТ Р 54860-2011 Теплоснабжение зданий. Общие положения методики расчета энергопотребности и эффективности систем теплоснабжения. М.: Стандартинформ, 2012.
7. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: Минрегион России, 2012. 139 с.
8. Малин Н.И. Энергосбережение и энергоаудит в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях: Учеб. пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. 159 с.
9. МДС 13-7.2000 Рекомендации по первоочередным малозатратным мероприятиям, обеспечивающим энергоресурсосбережение в ЖКХ города. М.: ГУП АКХ им. К.Д. Памфилова, 2000. 13 с.
10. Энергоэффективные системы отопления // Пресс-служба «Данфосс». [www.danfoss.ru](http://www.danfoss.ru).
11. Кузнецова Ю.А., Малин Н.И. Классификация и оценка эффективности энергосберегающих мероприятий в зданиях, оборудованных системами водяного отопления // Точная наука, 2016. № 3(3). С. 31...36.

УДК 677.074

**УДАРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ СО СЛОЕМ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА  
IMPACT INTERACTION OF THE PARTICLES WITH A LAYER OF GRANULAR  
MATERIAL**

**Антон Евгеньевич Лебедев  
Anton E. Lebedev**

*Ярославский государственный технический университет – ЯГТУ, Россия, Ярославль  
Yaroslavl state technical University – YSTU, Russia, Yaroslavl  
(e-mail: lae4444@mail.ru)*

*Аннотация:* рассматриваются вопросы ударного взаимодействия частиц со слоями дисперсного материала различной толщины. Исследуется влияние скорости взаимодействия и толщины подложки на вид и структуру результата столкновения.

*Abstract:* considers issues of impact interaction of the particles with layers of particulate material of different thickness. Investigates the influence of impact velocity and thickness of the substrate on the appearance and the structure of the collision.

*Ключевые слова:* удар, сыпучий материал, частица, подложка, скорость

*Keywords:* blow, granular material, particle, substrate, speed

Ударные процессы при переработке дисперсных сред являются достаточно частыми явлениями. Столкновения частиц как между собой, так и со слоями дисперсных материалов происходят при смешении, измельчении, диспергировании и других процессах. Взаимодействие частиц, особенно высокоскоростное может существенно повлиять на параметры процесса. В процессах измельчения целями столкновения является разрушение частиц, при смешении — перераспределение с целью формирования смеси [1,2].

При столкновении потока частиц со слоем дисперсного материала имеет место образования всплесков, аналогичных возникаемым в жидких средах. Возникновение таких явлений в некоторых случаях может существенно изменять картину взаимодействия. Это может оказать негативное влияние, например, при проведении процесса смешения, когда для достижения требуемых значений показателей однородности необходимо обеспечить точное соотношение смешиваемых компонентов.

Для изучения процесса ударного взаимодействия частиц с подложками был проведен ряд опытных исследований.

Опыты по проникновению твердых частиц в слой сыпучего материала проводились на лабораторной установке.

Эксперимент проводился в следующем порядке. В емкость засыпался сыпучий материал, поверхность которого выравнивалась. В захват засыпались твердые частицы. При помощи натяжного устройства захват перемещался в вертикальном направлении на требуемую величину и фиксировался. При отпуске захвата упругие элементы распрямлялись и разгоняли находящиеся в захвате частицы. После схода с захвата частицы ударялись о поверхность сыпучего материала, находящегося в емкости.

В результате проведенных опытов были установлено, что при малых скоростях столкновения частиц с поверхностью слоя сыпучего материала наблюдается образование кратера с достаточно ровными краями (рис. 1).

С увеличением скорости взаимодействия имеет место возникновения разлета частиц с образованием «короны» (Рис. 2).



**Рис.1 Результат столкновения при скорости 5 м/с**



**Рис.2 Результат столкновения при скорости 10 м/с**

На данном рисунке видна сформировавшаяся из частиц подложки корона. Как и в случае столкновения с жидкими подложками корона расширяется в радиальном направлении.

В следующей части работы приводятся результаты исследований по влиянию различных параметров на диаметр образованного кратера и его глубину.

На рис. 3 показана зависимость диаметра образованного кратера от скорости частицы.

Повышение скорости столкновения частицы с сыпучим материалом приводит к увеличению диаметра и глубины образованного кратера. Так в случае столкновения гранул размером 1,5 мм с поверхностью манной крупы наиболее резкое возрастание диаметра кратера происходило при скоростях соударения более 20 м/с.

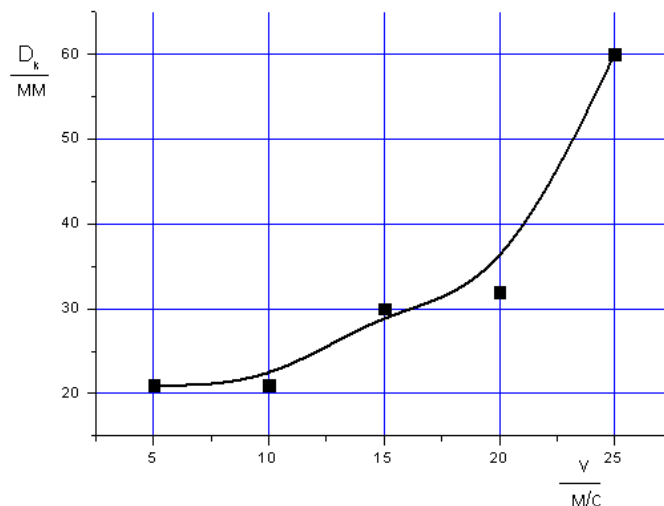


Рис.3. Зависимость диаметра кратера от скорости частицы

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев А. Е Математическое описание процесса образования дисперсных потоков // Фундаментальные исследования, 2013. - №10, С. 3338-3341.
2. Ходаков Г. С. Физика измельчения. - М.: Наука, 1972. 307 с

УДК 697.148

## ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ МНОГОСЛОЙНОЙ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ МАЛОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОВОЙ АККУМУЛЯЦИИ INFLUENCE OF WALL'S PROPERTIES OF THE LOW BUILDING ON COEFFICIENT OF THERMAL ACCUMULATION

Анна Александровна Заикина, Валерия Владимировна Потехина,  
Михаил Валентинович Горелов  
Anna A. Zaikina, Valeria V. Potekhina, Mikhail V. Gorelov

Национальный Исследовательский Университет «МЭИ», Россия, Москва  
National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Russia, Moscow  
(e-mail: anna-anna.z@yandex.ru; lerika2332@gmail.com; gorelov\_mikhail@mail.ru)

*Аннотация:* Рассмотрены некоторые материалы ограждающих конструкций малоэтажных зданий, приведены результаты расчёта коэффициента теплоаккумуляции.

*Abstract:* Some materials of the protecting of low-rise buildings were researched, the results of calculating the thermal accumulation coefficient were shown.

*Ключевые слова:* тепловые потери, малоэтажные здания, теплоаккумулирующая способность.

*Keywords:* heat losses, low-rise buildings, thermal storage capacity

Современные требования по энергосбережению, долговечности конструкций и комфортности малоэтажного жилья требуют особого внимания к выбору строительных материалов наружных ограждающих конструкций [1,2].

Древесина являлась традиционным строительным материалом на протяжении длительного периода времени для возведения малоэтажного жилья в сельской местности. Наряду с экологичностью она обладает целым рядом положительных свойств: высокая удельная прочность, незначительные температурные расширения при нагреве, химическая



стойкость и простота обработки. К недостаткам древесины можно отнести подверженность к биопоражению, неоднородность строения и горючесть.

Кирпичный строительный материал представляет собой искусственный камень, выполненный в правильной форме и является строительным элементом. Основные свойства кирпича – это прочность, морозоустойчивость и водостойкость. Благодаря своей прямоугольной форме данный материал хорошо подходит для кладки строительных объектов. Кирпич широкое применение нашел в индивидуальном жилищном строительстве с 80-х годов прошлого века.

В настоящее время все чаще можно встретить относительно новые строительные материалы, которые обладают отличными потребительскими качествами, со слов производителей и продавцов. Одним из таких материалов является арболит. Арболит – это строительный материал, изготовленный из смеси бетона и деревянной щепы крупного размера. К преимуществам арболита относятся теплопроводность, звукоизоляционные и огнеупорные свойства, но постройка многоэтажных строений (более 2-х этажей) нежелательно. К таким же материалам можно отнести и «сельскую стену», которая рассмотрена в [3].

Для обеспечения современных требований по тепловой защите зданий с целью экономии энергоресурсов на отопление толщина однослойной стены из традиционных материалов (кирпича, керамзитобетона, дерева) должна быть таковой, что становится нереальной для применения. Такая ситуация заставила исследователей разрабатывать новые материалы и изделия, а также строительные системы, которые удовлетворяют требованиям по прочности, долговечности, теплозащите и одновременно экономически эффективные. В настоящее время большинство таких систем предусматривают многослойные конструкции стен.

Строительство зданий должно осуществляться в соответствии с требованиями к тепловой защите [1]. Перед вводом в эксплуатацию необходимо проводить испытания по определению теплозащитных свойств ограждающих конструкций и теплоаккумулирующей способности зданий [4]. Однако данные требования не распространяются на малоэтажное строительство сельской местности. Но хорошие теплозащитные свойства ограждающих конструкций и теплоаккумулирующая способность здания являются определяющим фактором при выборе источника теплоты в здании.

По данным на начало 2016 года уровень газификации сельских поселений России составляет 56 % [5]. А это означает, что население около 40 % сельских поселений в стране используют в качестве источника теплоты твердотопливные котлы в отопительный период. Серьезным недостатком твердотопливного котла является необходимость в постоянной загрузке топлива и непостоянство мощности. В данном случае хорошие теплозащитные свойства ограждающих конструкций в совокупности с высоким коэффициентом тепловой аккумуляции позволяет создать относительно комфортные условия для человека.

Способность к теплоаккумуляции – это характеристика материала, которая заключается в способности удерживать тепло определить срок, в течение которого температура внутреннего воздуха и поверхностей ограждений снизится до значения, определяемого требованиями [2].

Для оценки теплоаккумулирующей способности было смоделировано 4 здания с одинаковым отапливаемым объемом и одинаковыми расчетными термическими сопротивлениями  $R_{расч}$ . Отделочные слои (штукатурка, плитка и т.д.) в данном расчете не учитывались. Теплофизические характеристики материалов, использованных для конструирования стен данных зданий представлены в таблице 1.

Расчетные термические сопротивления, которые для всех трёх зданий составляют примерно 6,2 – 6,9 ( $m^2 \cdot K$ )/Вт, были найдены по формуле:

$$R_{расч} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (1)$$

здесь  $\alpha_1$  – внутренний коэффициент теплоотдачи, Вт/( $m^2 \cdot K$ ),  $\alpha_2$  – внешний коэффициент теплоотдачи, Вт/( $m^2 \cdot K$ ),  $\delta$  – толщина стены, м,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Расчётные значения термического сопротивления выше нормируемых [1], т.к. ограждающей конструкцией, с которой сравнивались вышеперечисленные материалы, была выбрана «сельская стена» [3].

Для здания №1 рассмотрена трёхслойная конструкция, состоящая из дубового бруса, минеральной ваты и древесины.

Конструктивным решением стен здания №2 является трехслойная конструкция из силикатного кирпича, минеральной ваты и керамического кирпича.

Стены здания №3 представляют собой многослойную конструкцию вида «сельская стена», которая симметрична относительно продольной оси и состоит из 5 слоев: утеплителя из прессованных соломенных блоков, двух контактных слоев из соломобетона и двух несущих слоев армированного торкрет-бетона [2].

Стены здания №4 выполнены из двухслойной конструкции: арболита и минеральной ваты.

**Таблица 1. Теплофизические характеристики материалов**

Материал		Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Удельная теплоёмкость, кДж/(кг·°С)
Стена №1	Силикатный кирпич	1500	0,600	0,80
	Минеральная вата	75	0,438	0,84
	Керамический кирпич	1800	0,800	0,80
Стена №2	Брус из дуба	700	0,180	2,40
	Минеральная вата	130	0,039	0,84
	Древесина-доски	450	0,150	1,70
Стена №3: «Сельская стена»	Армированный мелкозернистый торкрет-бетон	2200	0,438	0,84
	Соломобетон	500	0,130	2,30
	Прессованные соломенные блоки	50	0,059	2,30
Стена №4	Арболит	500	0,170	2,30
	Минеральная вата	75	0,039	0,84

Основным показателем теплоаккумулирующей способности зданий является коэффициент тепловой аккумуляции зданий  $\beta$ .

Для каждого здания коэффициент аккумуляции - величина, которая тем больше, чем больше масса ограждающих конструкций и их теплоёмкость, и чем меньше удельные теплотери здания [6].

Коэффициент тепловой аккумуляции может быть найден по формуле:

$$\beta_m = \frac{k_m \cdot \sum \delta_i \cdot c_i \cdot \rho_i \cdot F_i / 2}{Q_{y\delta}} = \frac{k_m \cdot \sum \delta_i \cdot c_i \cdot \rho_i \cdot F_i / 2}{3,6 \cdot \sum k_j \cdot F_j + L \cdot (c \cdot \rho)_{\text{вз}}} \quad (2)$$

где  $k_m$  - поправочный коэффициент для подсчёта теплоаккумуляции различных ограждающих конструкций;  $\delta_i, F_i$  - толщина и площадь  $i$ -ой ограждающей конструкции;  $c_i, \rho_i$  - удельная теплоёмкость и плотность материала  $i$ -ой ограждающей конструкции;  $k_j$  - коэффициент теплопередачи  $i$ -ой ограждающей конструкции;  $L$  - массовый расход воздуха;  $(c \cdot \rho)_{\text{вз}}$  - удельная теплоёмкость и плотность воздуха;  $Q_{y\delta}$  - удельные теплотери помещения.

Для рассмотренных зданий были получены численные значения коэффициентов теплоаккумуляции, результаты представлены в таблице 2.

**Таблица 2. Результаты расчёта коэффициента теплоаккумуляции**

Конструкция стены	$\beta$ , час	$\delta$ , м	$R_{расч}$ , (м <sup>2</sup> ·К)/Вт
Стена №1	40,4	0,82	6,27
Стена №2	37,6	0,55	6,28
Стена №3: «Сельская стена»	29,6	0,5	6,89
Стена №4	33,8	0,55	6,64

Таким образом, с помощью дешёвого органического утеплителя, входящего в состав «Сельской стены», возможно добиться требуемых значений термических сопротивлений для ограждающих конструкций, свести к минимуму тепловые потери, но здания из таких материалов обладают меньшей теплоаккумулирующей способностью. Такие здания быстро остывают после отключения системы теплоснабжения, поэтому использование таких материалов целесообразно только в газифицированных регионах или регионах с централизованным теплоснабжением.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012.
2. ГОСТ30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М.: Стандартинформ, 2013.
3. Голова Т.А., Денисова А.П. Энергоэффективность многослойной конструкции «Сельская стена» при проектировании малоэтажных зданий // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 8. – с. 9-18.
4. Приказ Ростехнадзора от 07.04.2008 N 212. Об утверждении Порядка организации работ по выдаче разрешений на допуск в эксплуатацию энергоустановок.
5. [www.interfax.ru/business/496656](http://www.interfax.ru/business/496656) «Уровень газификации в России в 2015 году превысил 66 %»
6. Кононович Ю.В. Тепловой режим зданий массовой застройки. М.: Стройиздат, 1986. 157с.

УДК 581.151:635.63:538.56

#### ОТКЛИКИ РАСТЕНИЙ НА ДЕЙСТВИЕ ЛОКАЛЬНОГО НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ИНФРАКРАСНОМ И МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНАХ ДЛИН ВОЛН RESPONSES OF PLANTS ON THE ACTION OF LOCAL LOW-INTENSIVE ELECTROMAGNETIC RADIATION IN INFRARED AND MILLIMETER RANGE WAVE LENGTHS

**Юрий Хасанович Шогенов\*, Юрий Михайлович Романовский\*\*  
Yuri K. Shogenov \*, Yuri M. Romanovsky \*\***

\*«Российская академия наук» (РАН), Россия, Москва

\*Russian Academy of Sciences (RAS), Russia, Moscow  
(e-mail: yh1961s@yandex.ru)

\*\* МГУ им. М.В. Ломоносова. Россия, Москва

\*\*M.V.Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow  
(e-mail: yuromanovsky@yandex.ru)

*Аннотация:* Получены электрические реакции растений огурца (*Cucumis sativus* L.) на локальные электромагнитные излучения (ЭМИ) низкой интенсивности (0,2-2,8 мВт/см<sup>2</sup>). Построен нормированный по входной интенсивности 0.6 мВт/см<sup>2</sup> спектр действия ЭМИ на отклики  $\Delta U$  биоэлектрических потенциалов (БЭП) растения в широком диапазоне длин волн, в том числе на отдельных длинах волн в инфракрасном и миллиметровом диапазонах,

которые перекрываются с линиями поглощения ЭМИ молекулами воды в тех же диапазонах.

*Annotation:* The electric reactions of cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) to local electromagnetic radiation (EMR) of low intensity (0.2-2.8 mW/cm<sup>2</sup>) were obtained. A spectrum of the EMR action on the response of \* U bioelectric potentials (BEP) of a plant in a wide range of wavelengths, including those at individual wavelengths in the infrared and millimeter ranges, which is normalized to an input intensity of 0.6 mW/cm<sup>2</sup> and overlapped with the lines of absorption of EMP by water molecules in the same ranges.

*Ключевые слова:* локальное электромагнитное излучение, длина волны, биоэлектрические потенциалы, миллиметровый диапазон, инфракрасный диапазон, растения огурца.

*Key words:* local electromagnetic radiation, wavelength, bioelectrical potentials, millimeter range, infrared range, the cucumber plants.

Использование технологических и технических систем, позволяющих в режиме «воздействие-отклик» проводить комплексный анализ и экспресс-диагностику состояния растительного организма без повреждения их тканей является актуальной для решения задач, стоящих перед сельскохозяйственной наукой и производством [1,2-4]. Важным инструментом исследования процессов жизнедеятельности является анализ реакции растения на изменение длины волны и параметров действующего ЭМИ в широком диапазоне длин волн [5].

В экспериментах использовали 23-25 дневные растения огурца (*Cucumis sativus* L.) ТСХА-575, которые выращивали по стандартной методике в стерилизованных сосудах на питательной смеси Арнона–Хогланда [6]. Перед началом опытов растения имели 3-4 хорошо сформировавшихся листа.

Использовали стандартную методику внеклеточного отведения поверхностных БЭП с применением хлорсеребряных неполяризующихся электродов [7,8]. В качестве источника когерентного света использовали He-Ne лазеры ( $\lambda=632$  и  $3390$  нм), диодные лазеры ( $\lambda= 655, 760, 860$  и  $1300$  нм) и источники ЭМИ миллиметрового диапазона ( $\lambda= 4...8$  мм,  $\nu=37,4-74,8$  ГГц). Интенсивность ЭМИ светового и ИК-диапазонов регулировали с помощью поляризационного фильтра в пределах  $0,1-2$  мВт/см<sup>2</sup> и  $0-10$  мВт/см<sup>2</sup>.

Необходимый диаметр светового пучка и степень локализации ЭМИ в пределах 1-4 мм обеспечивали с помощью системы линз. На выходе были получены следующие длины волн ЭМИ: ( $\lambda= 335, 355, 368, 383, 402, 417, 433, 351, 471$  и  $490$  нм с полосой пропускания  $\Delta\lambda=15$  нм); ( $\lambda= 500, 526, 552, 578, 605, 632, 661, 689, 720$  нм с полосой пропускания  $\Delta\lambda=7,5$  нм). Общая толщина листовой пластины огурца составляла в среднем  $0,2$  мм.

Для регулирования интенсивности электромагнитных колебаний миллиметрового диапазона использовали измерительный преобразователь (аттенуатор). Локальное облучение осуществляли в виде ступеньки длительностью  $\tau = 20$  с, при которой наблюдалась хорошая повторяемость результатов.

Для различных длин волн отклики  $\Delta U$  принимали значения в пределах  $1.6\div 2.4$  мВ. Отклики  $\Delta U$  регистрировали на удалении от места локализации ЭМИ, поэтому на величину  $\Delta U$  дополнительно оказывали влияние проводящие свойства растения. Время задержки появления  $\Delta U$  на электродах соответствовало скорости распространения возбуждения ( $1-1,2$  см/с) от зоны локального воздействия.

Результаты представлены на рисунках 1 и 2.

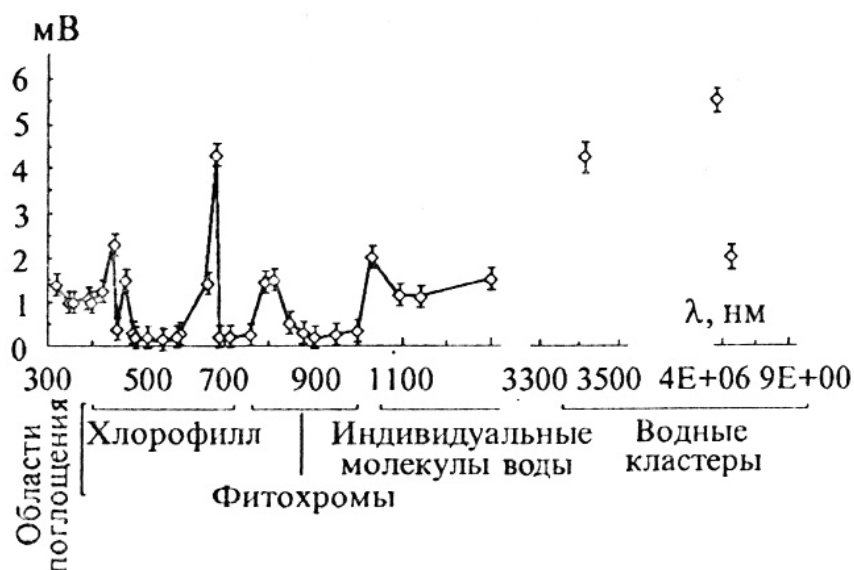


Рис. 1. Спектр действия (амплитуды откликов) переменных БЭП на локальное электромагнитное облучение на отдельных длинах волн.

### Зависимость амплитуды отклика от длины волны излучения

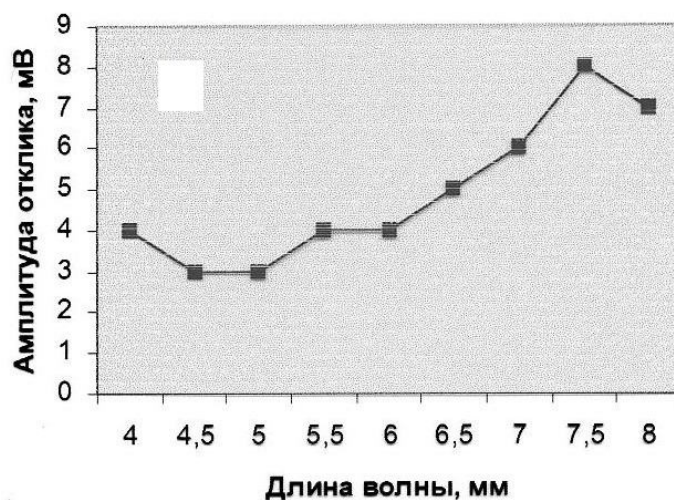
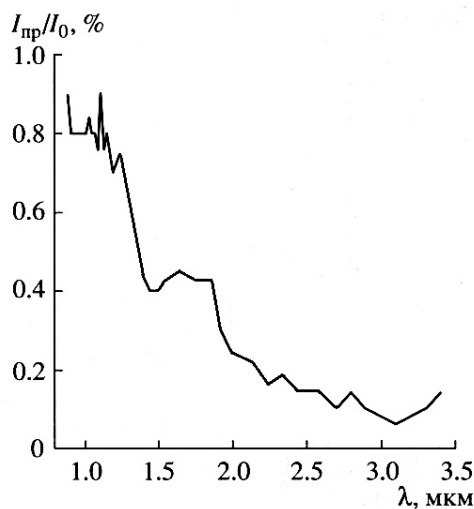


Рис. 2. Спектр действия амплитуды отклика  $\Delta U$  на локальное воздействие ЭМИ миллиметрового диапазона ( $\lambda = 4\text{--}8$  мм).

Обсуждение результатов и выводы. Наиболее высокие уровни  $\Delta U$  наблюдаются в следующих диапазонах длин волн: 335÷440 нм, 650÷670 нм, 750÷850 нм и 1020÷3390 нм (рис. 1). Диапазоны 335÷440 нм и 650÷670 нм соответствуют областям интенсивного фотосинтеза (по спектру поглощения хлорофилла) [9,10] и хорошо согласуются с областями максимального поглощения листа огурца, полученными нами ранее в УФ- и видимом диапазонах [6]. Фотоиндуцированные реакции БЭП растения в синей и красной (750-850 нм) областях спектра, вероятно связаны с участием клеточных пигментов (флавины и фитохром) и хлорофилла [10]. ИК-излучение практически полностью поглощается в тонкой листовой пластине для длин волн, больших, чем 1000 нм (рис.2). Сравнение зависимостей спектра пропускания листа огурца (рис. 3) и спектра поглощения воды свидетельствует о том, что

ИК-излучение ( $\lambda=1020\div3390$  нм) почти полностью поглощается молекулами воды зеленого листа.



**Рис. 3. Спектр пропускания листа огурца в инфракрасном диапазоне длин волн.**

$I_0$  – интенсивность падающего на лист растения локального ЭМИ;  $I_{пр}$  – интенсивность прошедшего через лист излучения.

При дополнительном локальном облучении зеленого листа увеличивается интенсивность фотосинтеза – как вследствие поглощения света хлоропластами и возрастания фотосинтетической активности, так и вследствие нагревания молекул воды. Эти факторы приводят к появлению  $\Delta U$ . Отклики  $\Delta U$  регистрировали на значительном удалении от места локализации светового пучка. Поэтому на величину  $\Delta U$  дополнительно влияли проводящие свойства растения. При отсутствии фонового освещения в наших экспериментах реакции БЭП на ИК-облучение растения не наблюдались. В условиях фонового освещения, при нормальном ходе процесса фотосинтеза, ИК-облучение приводит, по видимому, к локальному нагреву молекул воды в облучаемой области зеленого листа и появлению отклика  $\Delta U$ . При облучении листа огурца миллиметровыми радиоволнами ( $\lambda=4-8$  мм,  $\nu=37,4$  ГГц) отклики БЭП, возможно связаны с поглотительными свойствами воды в том же диапазоне [11,12].

Облучение локальной области листовой пластины миллиметровыми волнами ( $\lambda=4-8$  мм,  $\nu=37,4-74,8$  ГГц,  $\Delta U=0,2$  мВт/см<sup>2</sup>) также является примером низкоэнергетического воздействия ЭМИ на растение (глубина проникновения ЭМИ в живую ткань 0,3 мм [11]), когда полезный эффект (отклик  $\Delta U$ ) достигается при переходе энергии ЭМИ в избирательный микронагрев молекул воды раствора ( $\leq 0,1$  градуса), а интегральный нагрев при этом несущественен. В этом случае можно говорить об информационном действии ЭМИ нетепловой интенсивности [4]. Эффективность действия ЭМИ на растение, по-видимому, зависит также от состояния организма. Например, если в исходном состоянии определенная жизненно важная функция изменена по отношению к нормированным показателям в несколько раз, то в облучения ЭМИ на определенных частотах ее можно потенциально восстановить примерно в то же число раз в том числе путем адаптации растения к новым условиям окружающей среды.

Предложенная методика измерения спектра действия ЭМИ на отклики БЭП позволяет использовать различную степень локализации ЭМИ на поверхности листа, целого растения, проводить прижизненную экспресс-диагностику функционального состояния в широком диапазоне длин волн, включая участки спектра, не связанные с фотосинтезом (ИК, миллиметровый диапазон), а также выявить функционально значимые участки спектра,

способствующие улучшению жизнедеятельности растений, в том числе отвечающие за повышение их адаптивного потенциала к неблагоприятным факторам среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х.* Разработка интенсивных машинных технологий и новой энергонасыщенной техники для производства основных видов сельскохозяйственной продукции // *Техника и оборудование для села.* 2016. №5. С.2-5.
2. *Солнцева Н.П., Федоров В.М., Рубин А.Б. и др.* Современные проблемы изучения и сохранения биосферы. Том 3. Проблемы восстановления и сохранения систем биосферы// *Коллективная монография под ред. Красногорской Н.В.* Санкт-Петербург. Гидрометеиздат. 1992 г. 356 с.
4. *Vasil'ev V.A., Garkusha I.V., Petrov V.A., Romanovskii Yu.M., Shogenov Yu.Kh.* Light induced electrical activity of green plants // *Biophysics.* 2003. V. 48. N 4. P. 662-671.
5. *Шогенов Ю.Х., Измайлов А.Ю., Романовский Ю.М.* Реакции растений на действие локальных электромагнитных волн низкой интенсивности в широком диапазоне длин волн // *Вестник Российской сельскохозяйственной науки.* 2017. № 1. С. 21-23 ISSN 2500-2082.
6. *Shogenov Yu.H., Mironova E.A., Moiseenkova V.Yu., Romanovsky Yu.M.* Bioelectric response of plants to the local low-intensive irradiation in the spectral range 330-1300 nm // *SPIE. Coherence Domain Optical Methods in Biomedical Science and Clinical Applications II.* San Jose (USA), 1998. V.3251. P.172-182
7. *Shogenov Yu.H., Romanovsky Yu.M., Stepanian A.S.* Measurement of bleeding sap flow velocity in xylem bundle of herbs by laser probing // *SPIE. Laser Applications in Life Sciences.* Moscow, 1991. V.1403. P.359-362
8. *Шогенов Ю.Х., Измайлов А.Ю., Третьяков Н.Н.* Влияние низкоэнергетических электрических потенциалов на адаптацию семенных растений огурца при действии неблагоприятных факторов окружающей среды // *Техника и оборудование для села.* -2017. - № 2 (236). - С.14-17.
9. *Леопольд А.* Рост и развитие растений. М.: Мир, 1968. 494 с.
10. *Blankenship, Robert E.* *Molecular Mechanisms of Photosynthesis.* 2nd Edition. 2014.: Wiley & Sons Ltd. 312 p. Softcover - Wiley & Sons Ltd – ISBN: 978-1-4051-8975-0.
11. *Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н.* Миллиметровые волны и живые системы. М.: Сайнс-Пресс. 2004. 272 с.
12. *Mohammad Reza Mobasheri ; Sayyed Bagher Fatemi.* Leaf Equivalent Water Thickness assessment using reflectance at optimum wavelengths // *Theoretical and Experimental Plant Physiology* 2013 Vol. 25 N. P. 196-202.

УДК 621. 791

**ПОВЫШЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
МОБИЛЬНЫХ МАШИН ПУТЕМ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ  
И ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ИХ ОЧИСТКИ  
THE TERM OF OPERATION A HYDRAULIC SYSTEMS MOBILE  
MACHINES, THROUGH THE EVALUATION OF WORKING FLUIDS AND  
APPLICATIONS EFFECTIVE WAYS TO CLEAN**

**Валерий Владимирович Ерофеев\*, Роберт Гарафиевич Шарафиев\*,  
Алексей Павлович Леготин\*\*, Ильгиз Рустамбекович Киреев\*  
Valeriy V. Erofeev\*, Robert G. Sharafiev\*,  
Alexey P. Legotin\*\*, Ilgis R. Kireev\***

*\*Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, Уфа  
\*Ufa state oil technical university, Russia, Ufa  
(e-mail: ervv52@mail.ru)*

*\*\* Южно-Уральский государственный аграрный университет, Россия, Троицк  
\* South Ural state agrarian University, Russia, Troitsk  
(e-mail: ervv52@mail.ru)*

*Аннотация:* В настоящей работе проведены исследования качества рабочих жидкостей гидравлических систем колесных шасси, прошедших 35...60 тыс.км пробега, из которых были отобраны пробы из поддонов гидротрансформаторов, фильтров гидротрансформаторов и коробок передач. Для проведения лабораторных исследований было использовано более 30 проб рабочих жидкостей, по результатам которых были получены усредненные данные по основным показателям (вязкость, температура вспышки, застывания, кислотное число и содержание механических примесей), которые свидетельствуют о несоответствии их значений нормативным требованиям. С учетом неизбежного загрязнения рабочих жидкостей в гидросистемах мобильных машин в процессе их эксплуатации были проведены исследования по выбору и применению новых средств очистки рабочих жидкостей с точки зрения дальнейшего практического применения.

*Abstract:* In the present work the studies of the working fluids a hydraulic systems, wheeled landing gear of the past 35...60 thousand kilometers, of which the samples were taken from the pallets of the torque converter, filters, torque converters and transmissions. For laboratory studies have used more than 30 samples of fluids, the results of which were obtained average data on key indicators (viscosity, flash point, pour point, acid number and content of mechanical impurities), which indicate non-compliance of their values, regulatory requirements. Given the inevitable contamination of the working fluids in hydraulic systems of mobile machines in operation studies have been conducted on the selection and application of new cleaning fluids from the point of view of further practical applications.

*Ключевые слова:* гидравлические масла, загрязнения рабочих жидкостей, анализ качества рабочих жидкостей и способы их очистки.

*Keywords:* hydraulic oil, contamination of fluids, analysis of working fluids and methods of their purification.

Надежность и срок службы агрегатов гидравлических систем в значительной степени зависит от наличия загрязнений в рабочих жидкостях. Анализ причин отказов и нарушений работы агрегатов гидравлических систем свидетельствует о том, что около 20% аварий происходит вследствие загрязненности жидкости, что свидетельствует о том, что чистота гидравлических масел не в полной мере соответствует предъявляемым к ней жестким требованиям и существующим условиям применения [1].



Введение стандарта ГОСТ 17216 «Промышленная чистота. Классы чистоты жидкостей», в соответствии с которым определены 19 классов чистоты жидкостей, предопределило возможность выбора чистоты гидравлических масел для гидропередач мобильных машин с соответствующими допусками, посадками и чистотой обработки рабочих поверхностей. Каждой системе в зависимости от ее назначения и важности выполняемых функций установлен требуемый класс чистоты жидкости. При этом учтены требования по надежности машин и механизмов и установлен срок службы [2].

Следует отметить, что работоспособность и срок службы машин и механизмов зависят не только от гранулометрического состава, но и от вида и твердости загрязнений.

Среди конструктивных факторов наибольшее влияние на изменение качества масел оказывают качество контактирующих металлов и особенно состояние их поверхностей, а также форма и размеры деталей. Наибольшее влияние оказывают медь, ее сплавы, а также соли. Способствуют увеличению скорости коррозии и присутствие нескольких разнородных металлов и сплавов, например, сталь - алюминий, сталь – медь. Особенно интенсивно протекают процессы электрохимической коррозии в присутствии воды.

Продукты коррозии постепенно накапливаются на стенках агрегатов, деталей, трубопроводах и фильтрах гидравлических систем. Недостаточная очистка ускоряет процессы коагуляции продуктов окисления в смолистые вещества.

Загрязняющие вещества выделяются из жидкости в виде частиц, различных присадок и добавок, а в условиях работы и хранения при положительных температурах в маслах развиваются колонии микроорганизмов водорослей и грибов. Жидкость загрязняется также частицами пыли, поступающей в баки через систему дренажа, заливную горловину при открытой заправке и т.п. Предельная крупность частиц пыли в воздухе достигает порядка 50 мкм, основную массу пыли составляют частицы размером 10 мкм. В составе пылинок содержится кварц твердостью 7 единиц (по десятичной шкале Мооса) - до 80%; окись алюминия твердостью 9 единиц - до 17%; полевой шпат твердостью 6...5 единиц.

Загрязнение масел, зазоров в сопряженных парах уменьшают скорости взаимного перемещения деталей и твердость их поверхностей, вызывают повышение шероховатости поверхностей и рабочего давления, а также нарушение температурного режима [3].

Наиболее жесткие требования предъявляются к чистоте дизельных топлив и масел. Это связано с тем, что сопряженные детали дизельных двигателей имеют скользящие посадки с зазором в несколько микрометров.

Соответствующие классы чистоты должны указываться в нормативно-технической документации на нефтепродукты и эксплуатационной документации на машины, системы и устройства. Однако, при определении загрязненности конкретных нефтепродуктов количество частиц в различных группах довольно часто не соответствует классам чистоты, причем расхождение, как правило, составляет 5-6 классов.

На основании приведенных данных можно констатировать, что процесс загрязнения нефтепродуктов осуществляется на всех этапах производства, хранения, транспортирования и применения. [4].

В настоящей работе проведены исследования качества рабочих жидкостей, слитых из 10 единиц гидравлических систем колесных шасси, прошедших 35...60 тыс.км пробега, которые подтвердили причины отказов гидросистем. Для исследований были отобраны пробы из поддонов гидротрансформаторов, фильтров гидротрансформаторов и коробок передач. Для проведения анализа лабораторных исследований было использовано более 30 проб рабочих жидкостей. Усредненные результаты данных лабораторных исследований приведены в таблице 1.

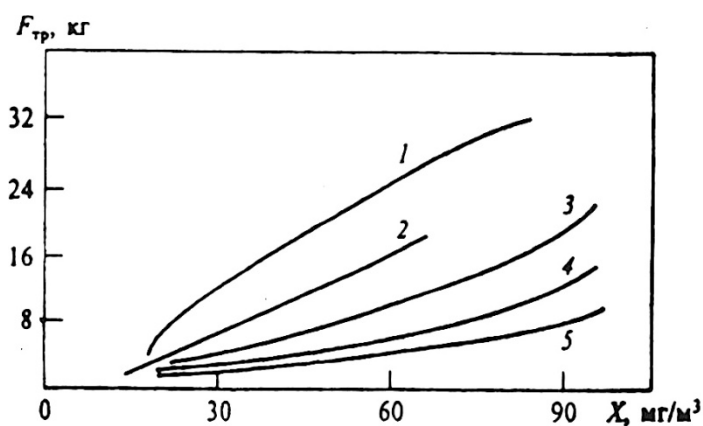
**Таблица 1. Результаты анализа отработавших рабочих жидкостей**

Показатели	Нормы по ТУ 381011282-89	В поддоне ГМП	Фильтр гидро-трансформатора	Фильтр КП
1. Вязкость кинематическая				
-при 1000 °С, не менее	6,5	5,75	5,86	5,80
-при 500 °С, в пределах	23-30	24,76	24,47	24,30
-при 200°С	2100	норм.	норм.	норм.
2. Температура				
-вспышки в открытом тигле, не ниже	180	175	172	173
-застывания, не выше	-42	-36	-34	-34
3. Содержание, %				
-воды, % относ.	отс.	0,03	0,005	0,005
-водорастворимых кислот и щелочей	доп. щелоч. реакция	кислая реакция	кислая реакция	кислая реакция
-механических примесей	0,01	0,294	0,278	0,190
4. Испытание на коррозию	выд.	выд.	выд.	выд.
5. Стабильность в приборе ДКНАМИ осадок, не более	0,07	0,09	0,09	0,09
6. Зольность, % не менее	0,60	0,77	0,80	0,76
7. Содержание, % не менее				
-цинка	0,08	0,14	0,13	0,12
-кальция	0,1	0,16	0,16	0,16
8. Плотность при 200°С, г/см <sup>3</sup>	не норм.	0,890	0,892	0,894
9. Воздействие на резину 72ч, 125°С, изменение массы, не более	+5,0	норма	норма	норма

В частности, было установлено, что качество рабочих жидкостей по основным показателям: вязкость, температура вспышки, застывания, кислотное число и содержание механических примесей не соответствует нормативным требованиям. В результате микроскопических исследований установлено, что по качеству очистки рабочей жидкости она относится к 14 классу чистоты.

По существующему стандарту (ГОСТ 6370-84) загрязненность жидкости оценивается весовым способом, при этом считается, что количество механических примесей не должно превышать 0,005% или 50 мг/1000см. В рассматриваемых пробах отработанных масел содержание механических примесей превышало их нормативные значения в 58 раз. Повышение тонкости фильтрации от 20 до 5 мкм позволило увеличить срок службы насосов в 10 раз, а гидроаппаратуры – в 5-7 раз.

Влияние тонкой фильтрации жидкости на уровень ее загрязнения можно проследить по данным, представленным на рисунке 1. В частности, нетрудно заметить, что чем выше тонкость фильтрации, тем меньше сила трения плунжерных пар автоматики гидромеханических передач. Измерение сил трения проводилось каждый раз после нахождения плунжера регулировки подачи рабочей жидкости под давлением  $p$  в течении 5 минут. Масло подавалось к распределителю неочищенным (в состоянии поставки) (кривая 1, см. рисунок 1), либо очищенным с помощью одного из фильтроэлементов: пластинчатого, обеспечивающего тонкость фильтрации 120 мкм (кривая 2); сетчатого – с тонкостью фильтрации 40 мкм (кривая 3); фетрового – с тонкостью фильтрации до 30 мкм (кривая 4); бумажного (бумага АФБ-1к) - с тонкостью фильтрации 8-13 мкм (кривая 5).



**Рисунок 1- Влияние загрязнений в жидкости на силы трения плунжерных пар автоматики гидромеханических передач: неочищенное масло; 2, 3, 4, 5 – соответственно тонкость фильтрации 120 мкм; 40 мкм; 30 мкм; 8 мкм**

Проведенные стендовые испытания нашли дальнейшее экспериментально-теоретическое подтверждение.

С учетом неизбежного загрязнения рабочих жидкостей в гидросистемах мобильных машин в процессе их эксплуатации были проведены исследования по выбору и применению новых средств очистки рабочих жидкостей с точки зрения дальнейшего практического применения. Были исследованы следующие способы очистки: механический, электростатический и центробежный. При этом необходимо было исключить такие недостатки

используемых фильтров, как их небольшая грязеемкость и необходимость частой замены фильтрующих элементов разного пользования. Так, например, улучшение очистки рабочих жидкостей при механическом способе фильтрации связано с существенным увеличением площади фильтрующих элементов, которое приводит к увеличению габаритных размеров, массы и стоимости фильтрующих устройств.

Электростатические очистители показывают хорошие результаты по тонкости фильтрации, способны очищать жидкость с большими и пульсирующими расходами, обладают регенерирующими способностями и простотой промывки. Однако существенная зависимость эффективности очистки от электропроводимости рабочих жидкостей, сложность, высокая стоимость и взрывоопасность существенно ограничивает практическое использование данного способа очистки рабочих жидкостей в гидросистемах мобильных машин.

Наиболее перспективным способом очистки рабочих жидкостей в гидросистемах строительных, дорожных и мобильных машин является центробежный способ очистки, базирующийся на использовании очистительных устройств на основе центробежного силового поля. Эффективность данного способа очистки обуславливается тем, что основную массу механических примесей, загрязняющих рабочие жидкости, составляют частицы, имеющие плотность в диапазоне 1,4...8 г/см<sup>3</sup>, т.е. в 2 и более раз превышающую плотность применяемых рабочих жидкостей.

Отличительная особенность центробежных сепараторов (центрифуг) состоит в возможности их применения при больших расходах (400 л/мин и более), пульсации потока, а также при значительном диапазоне изменения вязкости (от 8 до 800 мм<sup>2</sup>/с) рабочей жидкости. К несомненным достоинствам центробежных сепараторов по сравнению с фильтрами следует отнести их более высокую надежность и технический ресурс очистителя. Так, например, очистка ротора центробежного сепаратора осуществляется при сезонном техническом обслуживании (СО), выполняемом 2 раза в год или во время текущего ремонта машин через 960-1000 ч наработки [4].

Центробежный очиститель при 30 000 об/мин очищает масло от загрязняющих частиц диаметром более 6 мкм.

К несомненным достоинствам центрифуг следует отнести их хорошую фильтрующую способность, которая практически не изменяется по мере накопления отложений на центрифуге, и простоту обслуживания, так как нет необходимости в замене элементов при периодическом обслуживании.

В результате применения новых очистителей достигнуто повышение класса чистоты рабочих жидкостей с 14 до 8, что, в свою очередь, дает значительную эффективность в виде

увеличения ресурса работы деталей, узлов, гидравлического масла и в целом гидравлической системы мобильных машин.

Необходимым условием качества промывки гидравлических систем является их проверка на чистоту, которая в полевых условиях осуществляется исходя из условия, что в отстое рабочей жидкости не должно содержаться неуловимых механических частиц весом 0,002% от общего объема гидравлической жидкости в системе. Такой анализ проводится в лабораторных условиях. При отсутствии лаборатории, например, в полевых условиях рекомендуется оценку чистоты рабочей жидкости производить исходя из условия, что в отстое стакана фильтра допускаются отдельные механические частицы, видимые невооруженным глазом.

Отработанные гидравлические жидкости, не подлежащие дальнейшему восстановлению в связи с большим загрязнением и несоответствием показателей качества требованиям стандарта (ГОСТ 20734-75), подлежат сдаче предприятиям нефтесбыта.

Опыт эксплуатации и результаты исследовательских работ показывают, что во многих случаях качество сливаемой рабочей жидкости с гидросистем не отвечает требованиям ГОСТ, но они могут быть восстановлены, и применяться в дальнейшем если не по прямому назначению, то для других не менее ответственных целей, например, для первичной промывки гидросистем. В связи с этим было предложено использовать гидравлическую жидкость после ее восстановления для первичной промывки гидравлических систем мобильных машин.

Предложенные меры по улучшению очистки гидравлического масла в гидросистеме, слива его и подготовке гидросистемы к работе обеспечивают 8 класс чистоты гидравлического масла, что соответствует уровню чистоты гидравлических систем (6 - 8 класс) по ГОСТ 17216.

Контроль чистоты гидравлического масла в гидросистеме в процессе исследований проводился в соответствии с требованиями ГОСТ 6970-82. Гранометрический контроль осуществлялся на отечественном фотоэлектронном анализаторе ПКЖ -903, прошедшего метрологическую поверку с использованием государственного стандартного образца на содержание механических примесей в нефтях и нефтепродуктах, изготовленного и аттестованного в отраслевой лаборатории стандартных образцов Уфимского государственного нефтяного технического университета.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Техническая диагностика гидравлических приводов /Под общ. ред. Башты Т.М. - М.: Машиностроение, 1989. - 264с.
2. Колесные шасси 547А и 547В. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - М.: Военное издательство. - 1980. - 399с.
3. Комаров А.А. Надежность гидравлических устройств самолетов /А.А. Комаров. - М. Машиностроение, 1978. - 224с.
4. Методические указания. Техническая диагностика. Правила и критерии определения периодичности диагностирования технических систем. РД 50-565.- М.: Изд-во стандартов, 1986. - 28с.

УДК 330.342.3/4; 656.2

## **ТРАНСПОРТ В VI ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УКЛАДЕ: ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ TRANSPORT IN THE 6TH TECHNOLOGICAL WAY: ENGINEERING SOLUTIONS**

**Анатолий Александрович Зайцев  
Anatoly A. Zaitcev**

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,  
Россия, Санкт-Петербург  
St. Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I, Russia, Saint-Petersburg  
(e-mail: nozpgups@gmail.com)*

*Аннотация:* В статье рассматривается роль транспорта в экономическом и социальном развитии страны. В структуре нового технологического уклада транспорт будет иметь еще большую значимость.

Предложено создать транспорт на основе сверхпроводимости и постоянных магнитов для коридоров Север – Юг, Восток – Запад с характеристиками, кратно превышающими качественные показатели существующего транспорта.

*Abstract:* The article considers the role of transport in the economic and social development of the country. In the structure of the new technological order, transport will be even more important.

It is proposed to create transport on the basis of superconductivity and permanent magnets for the North-South, East-West corridors with characteristics that are multiples of the qualitative indicators of the existing transport.

*Ключевые слова:* технологический уклад, магнитолевитационный международный транспортный коридор, кластер «Российский Маглев».

*Keywords:* technological way, international magnetic levitation transport corridor, cluster «Russian Maglev».

### **Введение**

Человечество вступает в очередной этап развития, именуемый шестым технологическим укладом, особенности которого заключаются в вовлеченности в этот процесс всех стран. Последствия или результаты нового уклада отчетливо повлияют на каждого жителя Земли, что связано с глобализацией распространения знаний, технологий, размещения производств, их взаимным обменом между странами и континентами. Эти явления повышают и выравнивают потребительский спрос.

Рост взаимного обмена ресурсами обеспечивается коммуникационными средствами. Обмен материальными и людскими ресурсами обеспечивает транспорт. Исходя из этих постулатов, следует рассмотреть место и роль транспорта в новом технологическом укладе, попытаться сформулировать, каким потребностям он должен отвечать, какие характеристики иметь, на какие научные и инженерные ресурсы опираться.

### **Значение транспорта**

Транспорт играет огромную роль для общества и государства. Для такой огромной страны как Россия скоростной высокопроизводительный транспорт особенно важен.

Транспорт обеспечивает:

- связность страны в единое пространство;
- обмен между отдельными регионами и людьми и материальными ресурсами;
- связность отдельных циклов производства;
- доставку сырья к месту переработки, а готовых товаров – к потребителю.

Степень развитости транспорта в значительной мере определяет место государства в межстрановой конкуренции. В 90-е годы прошлого века Россия старательно выполняла

рекомендации Европейского банка реконструкции и развития и Международного валютного фонда, избавлялась от торгового и рыбодобывающих флотов, не модернизировала железные дороги, а «агенты западного влияния» тормозили развитие железнодорожного транспорта, особенно скоростного и высокоскоростного.

Транспорт обязан удовлетворять специальные потребности граждан в поездках на работу, к месту проживания и отдыха, для посещения родных и близких. Безусловно, огромную роль транспорт играет в обороноспособности страны.

Нынешнее состояние транспортной системы страны является серьезным сдерживающим фактором развития экономики. Так, из общей протяженности железных дорог (86 тыс. км) около 10 тыс. км относятся к «узким местам», где пропускная способность исчерпана, а на 16 тыс. км введены ограничения скорости по техническому состоянию.

### **Требования к транспорту в новом технологическом укладе**

Мировое инженерное сообщество отмечает черты нового технологического уклада в транспортной среде и сформировало обязательные требования к транспорту и его характеристикам.

Прежде всего транспорт должен быть безопасным для пассажиров и устойчив к внешнему несанкционированному воздействию. Ежегодно в дорожно-транспортных происшествиях в России гибнет около 30 тыс. человек и более 200 тыс. получают ранения. Следовательно, транспортные магистрали не должны пересекаться в одном уровне, а основные потоки должны проходить под или над землей. Поверхность земли должна принадлежать человеку, а не машинам.

Вторым неоспоримым требованием к транспорту в новом технологическом укладе является минимизация влияния на окружающую среду, т.е. экологичность в самом широком смысле этого понятия. Земля не должна в столь огромном количестве быть залитой бетоном и асфальтом; поля, болота и леса не должны рассекаются магистралями, источающими газы, металлическую и резиновую пыль, уничтожающими живое вокруг.

Вступая в новый технологический уклад, Россия нуждается в транспорте, скорость перевозки пассажиров и грузов которого кратно выше существующего. Скорость грузового транспорта скорость должна составлять 7-6 тыс. км/сутки, пассажирского – 300-500 км/ч. Причем должны соблюдаться условия доступности и комфорта для всех категорий населения.

Транспорт нового технологического уклада должен создаваться на технологиях, кратно снижающих энергопотребление, с более низкой стоимостью жизненного цикла по отношению к классическому колесному транспорту.

### **Магнитолевитационные транспортные технологии**

Теория мирового экономического развития базируется на концепции циклической регулярности смены фаз подъема и спада [1]. Современная теория и практика циклам Кондратьева противопоставить ничего не смогла. Перестройка существующей экономической системы неизбежна, как и смена неолиберализма. Всеобщий экономический подъем в шестом цикле займет период с 2020 по 2043 г.

Прорывные технологии формируют новые секторы экономики, образующие новый технологический уклад, который, кроме изменений в промышленности, предполагает появление новой парадигмы образования, нового вида энергоносителей, инновационных видов транспорта и связи.

В ядро нового технологического уклада, наряду с нано-, био-, информационными и когнитивными технологиями, следует отнести сверхпроводимость и создание высокоэнергетических постоянных магнитов на основе редкоземельных металлов (рис. 1).



**Рис. 1. Транспорт в структуре технологического уклада (на основе современной теории).**

Магнитолевитационному транспорту на основе постоянных и электромагнитов со сверхпроводящими обмотками противопоставить нечего [2]. Судя по всему, этот вид транспорта и будет основным в наступающем технологическом укладе.

Подтверждением тому является активная работа по созданию магнитолевитационного транспорта в Китае, Южной Корее, США, Японии и многих других странах.

Необходимо утвердиться в понимании места магнитолевитационного транспорта в транспортной системе России – это очередной этап инновационного развития железнодорожного (колейного) транспорта, отвечающий на вызовы наступающего шестого технологического уклада.

#### **Трансконтинентальные транспортные коридоры по территории России**

Магнитолевитационный транспорт предназначен для решения широкого спектра транспортных задач: пассажирские городские и пригородные перевозки, межгородские и межрегиональные пассажирские и грузовые перевозки, транспорт для нового вида морских портов. Но наиболее привлекательным является создание транзитных транспортных коридоров [3].



**Рис. 2. Международные транспортные коридоры по территории Российской Федерации**

В условиях специфики современного глобального развития модернизацию транспортной системы России разумно и выгодно сочетать с идеей формирования международных транспортных коридоров (МТК). Логика глобального развития привела к значительному экономическому росту на окраинах Евразийского континента. Ввиду региональной специализации этого развития возникла и нарастает потребность в обмене продуктами – то есть в транспортном сообщении между Севером – Югом, Востоком – Западом (рис 2). Россия с ее потенциально выгодным положением между производящими и потребляющими регионами мира может предложить экономически наиболее выгодные пути для этих коммуникаций.

Организация МТК на территории России должна стать основой пространственного развития всей транспортной инфраструктуры. При таком подходе развитие МТК, наряду с ростом объемов транзитных перевозок, будет способствовать социальному и экономическому росту регионов, развитию внутреннего товарообмена. В этом отношении, а также с точки зрения укрепления единства страны, особое значение имеют МТК на оси Восток – Запад.

Технико-экономическое обоснование создания участка порты Финского залива – терминалы Москвы, как головного в будущей системе транспортных коридоров Север – Юг, Восток – Запад, показало высокую экономическую эффективность предлагаемой системы, соответствие ее возможностей требованиям наступающего нового технологического уклада [4].

### **Инженерные и институциональные решения для создания Научно-образовательного инженерного кластера «Российский Маглев»**

На базе Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I сформирован Научно-образовательный инженерный кластер «Российский Маглев» (далее – Кластер), объединивший научные и производственные структуры, обладающие компетенциями, достаточными для создания магнитолевитационных систем для различных транспортных задач.

Выполнены научные поиски, математическое и натурное моделирование, создан демонстрационный полномасштабный демонстрационно-испытательный участок, несущий груз в 28 тонн с левитационным зазором 25 мм.

Объединенным ученым советом ОАО «РЖД» признано, что разработки участников Кластера позволяют перейти к созданию коммерческих транспортных проектов полностью на российской научной, инженерной и технологической основе.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Иванов В. В.* Волны Кондратьева и история человечества // Труды русской антропологической школы. 2010. № 7. С. 9.
2. *Зайцев А. А., Антонов А. А.* Особенности магнитолевитационной технологии, применяемой на общественном транспорте // Известия ПГУПС. 2012. № 3. С. 11.
3. *Зайцев А. А., Юдкин В. Ф.* Транспортная система для межстрановых и межконтинентальных перевозок на основе магнитной левитации // Русский инженер. 2016. № 04 (51). С. 36.
4. Логистика железнодорожных перевозок внутри межконтинентальных транспортных коридоров // 2017. <http://www.gudok.ru/events/detail.php?ID=1358082>.



УДК 62-9

**РАСЧЕТ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ  
CFD-МОДЕЛИРОВАНИЯ**  
**CALCULATED OF VENTILATION SYSTEMS FOR INDUSTRIAL AND PUBLIC  
BUILDINGS WITH CFD-MODELING**

**Андрей Андреевич Арбатский, Василий Степанович Глазов,  
Andrei A. Arbatskiy, Vasliy S. Glazov**

*Национальный исследовательский университет «Московский Энергетический Институт»,  
Россия, Москва*

*Moskow Power Engineering University, Russia, Moscow*

*(e-mail: arbatsky1985@mail.ru, tamurik@bk.ru)*

*Аннотация:* В работе рассмотрены возможности применения системы CFD-моделирования PHOENICS для оптимизации расчета воздухообмена и воздухораспределения для различных типов помещений.

*Abstract:* Considered opportunities for use CFD-modeling for calculating ventilation system in the PHOENICS program.

*Ключевые слова:* вентиляция, CFD-моделирование, воздухообмен

*Keywords:* ventilation, CFD-modeling, air exchange

**Введение.** В настоящий момент, для расчета воздухообмена различных помещений, как производственных, так и общественных применяются инженерные методики основанные на расчете общих интегральных характеристик и требованиях санитарных норм. Данные методы расчета дают устойчивые результаты и позволяют предусмотреть необходимый запас.

Однако в большинстве случаев при расчете данными методами не учитывается локализация тепловых выбросов и не производится точных расчетов воздухо-распределения по помещению. При расчете воздухо-распределения, используются эвристические методы основанные на интуитивном понимании движения воздуха, что для помещений со сложной геометрией, или требованиями к точному поддержанию температуры воздуха не обеспечивает необходимых параметров.

В работе [1] был рассмотрен способ адаптации системы CFD-моделирования к расчету воздухообмена для цеха разварки кристаллов, класса чистоты ИСО 7 с точностью поддержания температуры  $+0,5\text{C}$ . Данный способ дал хорошие результаты как в оптимизации распределения потоков воздуха, так и в уменьшении необходимого воздухообмена. Были получены следующие результаты:

- Расход воздуха был уменьшен с  $8167\text{ м}^3/\text{ч}$ , до  $6580\text{ м}^3/\text{ч}$ ;

- Получена картина распределения температур и скоростей соответствующая требованиям технологии для данного производственного участка (рис.1).

В продолжении данной работы, было проведено моделирование цеха высокоточной механической обработки станкостроительного завода

При этом применялась, та же методика [2], что и в работе [1].

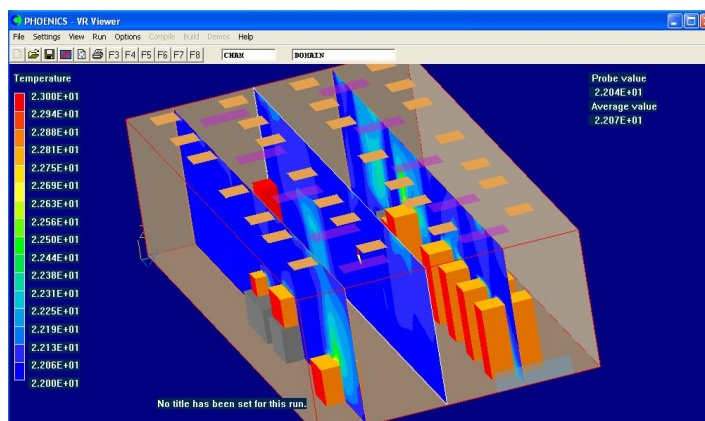


Рис. 1. Распределение температур по цеху разварки кристаллов

### Исходные данные

Рассматривается участок обработки станин и корпусных деталей, с требованием по поддержанию температуры  $20 \pm 0,5$  С. при этом имеется оборудование со значительным тепловым выделением от эл. двигателей (рис. 2):

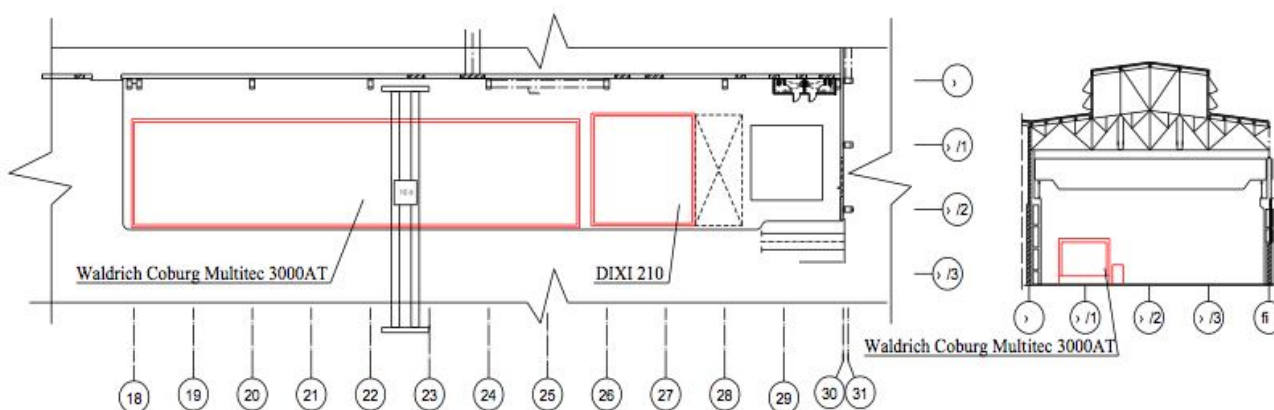


Рис. 2. Участок обработки станин и корпусных деталей.

Список тепловыделяющего оборудования и его тепловые характеристики:

- Портальный обрабатывающий центр Waldrich Coburg Multitec 3000AT 1шт.:  
 $Q_T = 27$  кВт;

Фрезерный станок DIXI 210 1шт.:  $Q_T = 26,4$  кВт;

Станок круглезьбошлифовальный КШ41 1шт.:  $Q_T = 1,2$  кВт;

Температура подаваемого воздуха: 20С;

Допустимый перепад температур по рабочей зоне: 1С ( $\pm 0,5$ С);

Количество людей в помещении: 10чел.

Количество светильников: 96шт.

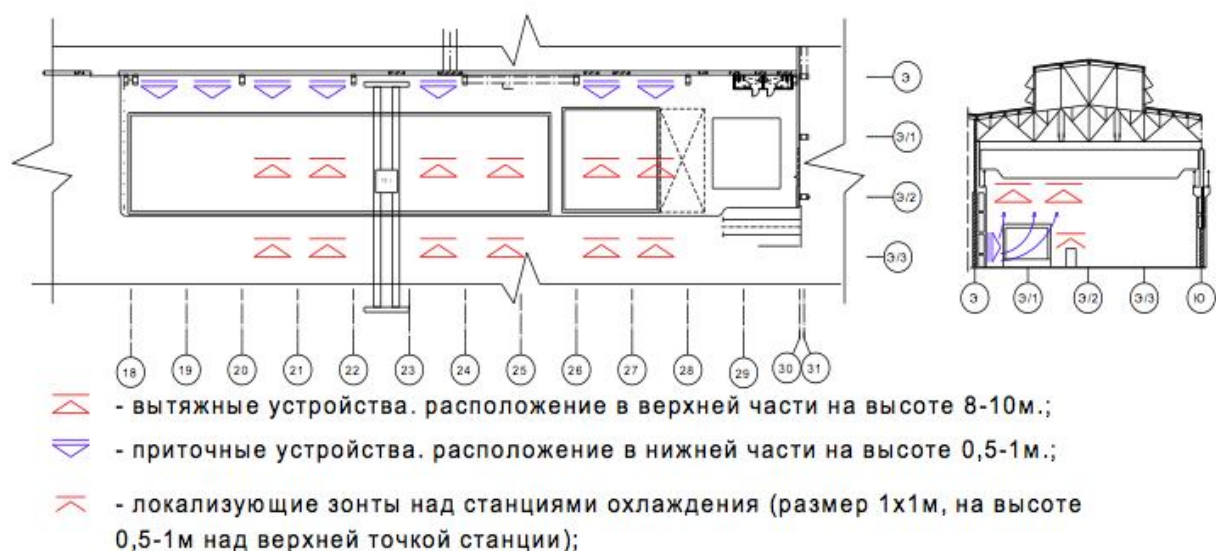
Расчетные воздухообмены при которых производилось моделирование:

$L_1 = 15\ 800$  м<sup>3</sup>/ч (для среднего перепада 10 С);

$L_2 = 19\ 800$  м<sup>3</sup>/ч (для среднего перепада по цеху 8 С);

$L_3 = 26\ 300$  м<sup>3</sup>/ч (для среднего перепада по цеху 6 С);

При этом эвристическим методом была найдена оптимальная схема расположения приточных и вытяжных устройств (рис. 3):

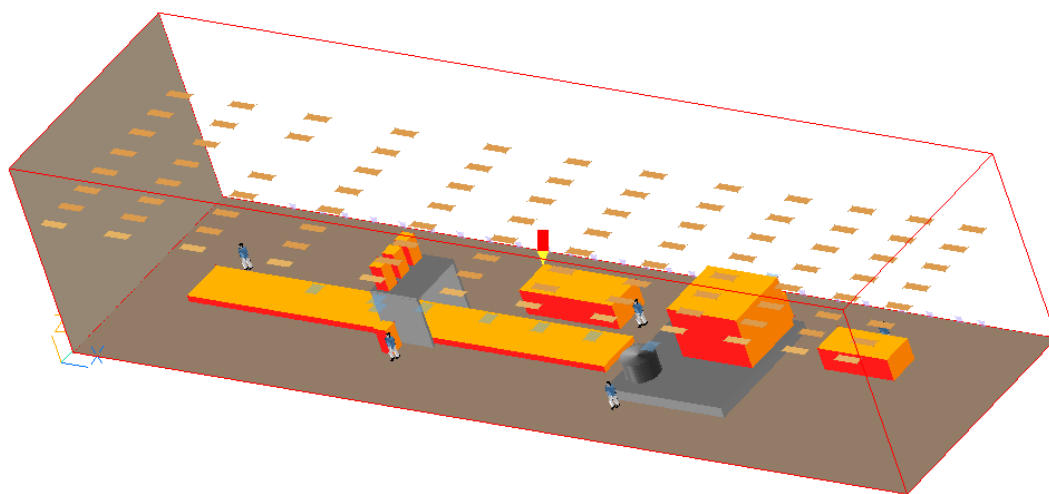


**Рис. 3. Схема воздухораспределения выработанная исходя из расчетных моделей**

Таким образом необходимо определить оптимальную величину воздухообмена, при которой будет соблюдено требование по допустимому перепаду температур в рабочей зоне.

#### Расчет

Для расчета была построена модель в системе PHOENICS (рис. 4):



**Рис. 4. Общий вид расчетной модели цеха**

Далее задавался расход приточного и вытяжного воздуха  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ . Также в первом приближении рассчитывалась температура поверхности оборудования, для построения модели для граничных условий 1-го рода, с целью оптимизировать расчетное время, а также увеличить точность расчета.

Далее для каждой модели методом [2], при граничных условиях 1-го рода, задаваемых, при моделировании, что позволяет существенно сократить время расчета и повысить точность моделирования, вычисляется точный коэффициент теплоотдачи и соответственно температура поверхности, таким образом получаем окончательные модели:

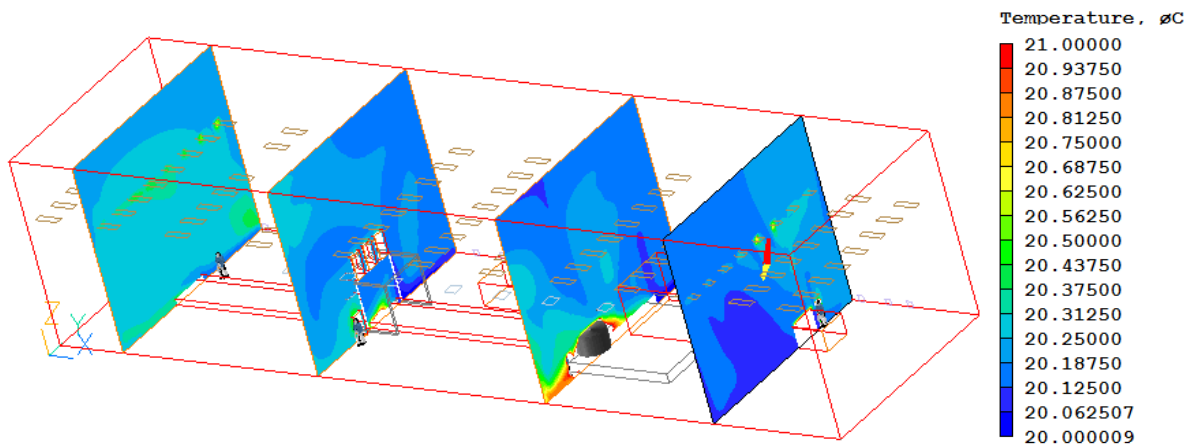


Рис. 5. Профили температур при расходе воздуха  $L_1$

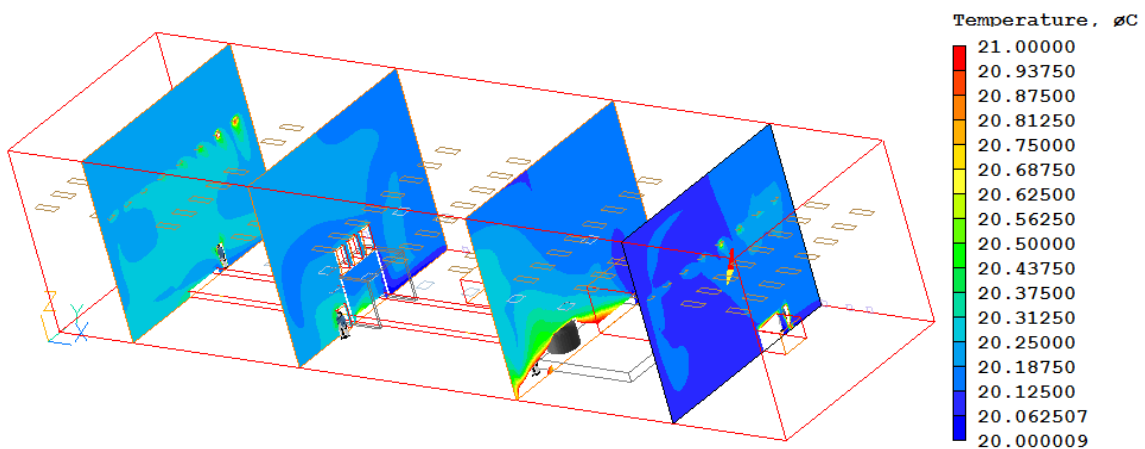


Рис. 6. Профили температур при расходе воздуха  $L_2$

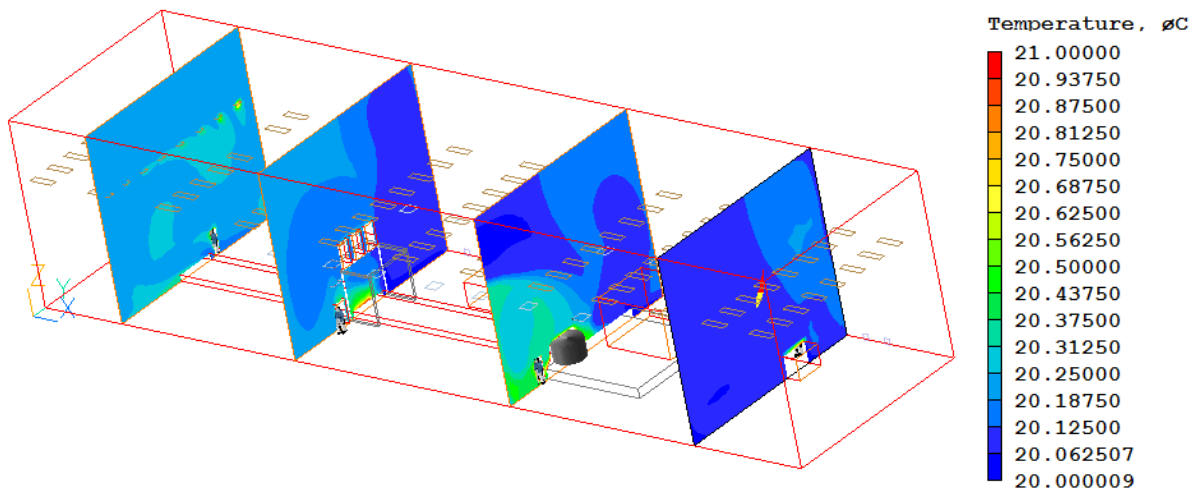


Рис. 7. Профили температур при расходе воздуха  $L_3$

Из Рис.5-Рис.7 видно, что при увеличении расхода воздуха, температурное поле по сечению цеха выравнивается. Приемлемая картина получилась при совокупном перепаде температур 6С между приточным и вытяжным воздухом (с учетом релаксации). Таким

образом расход воздуха составляет 26 300 м<sup>3</sup>/ч. При этом, согласно методике описанной в работе [1], для окончательных моделей были рассчитаны следующие коэффициенты теплоотдачи и температуры поверхности:

**Таблица 1. Тепловые характеристики элементов оборудования примененные при моделировании**

Наименование	Коэффициент теплоотдачи, Вт/м <sup>2</sup> /К	Тепловыделение, Вт	Площадь поверхности, м <sup>2</sup>	Значение температуры поверхности
Портальный обрабатывающий центр Waldrich Coburg Multitec 3000AT				
Шкаф управления	8,8	1500	84	22,1
Конвейер	9,1	1500	63	22,6
Охлаждающая система	10,3	24000	700	23,3
Фрезерный станок Dixi 210				
Приводной блок со шкафом управления	7,5	1500	118	21,7
Станина	11,1	1000	16,68	25,4
Охлаждающая система	12,2	23500	230	28,4
Станок круглорезьбошлифовальный КШ41				
Станина	11,7	1200	15	26,8

### Заключение

Повторно опробована методика расчета расходов воздуха и эвристической оптимизации воздухораспределения на примере конкретного производства. Получены дополнительные данные, для последующего анализа и получения устойчивой математической модели расчета воздухообменов, а так же постоянных рекомендаций по воздухораспределению в зависимости от характеристик оборудования.

По конкретной задаче получен следующий результат:

- Необходимый расход воздуха по классической методике рекомендованной в [3]: 52 600 м<sup>3</sup>/ч;
- Необходимый расход воздуха, определенный по методике с использованием CFD-моделирования: 26 300 м<sup>3</sup>/ч;
- Обозначена оптимальная расстановка приточных и вытяжных устройств (для подобных задач не существует рекомендаций в нормативной базе действующей на территории РФ);

### ЛИТЕРАТУРА

1. Арбатский А.А., Глазов В.С. Оптимизация расчета воздухообмена в производственных цехах // Сборник трудов Т.2., 2014г., УДК 62-9, Секция 1, с.170-175
2. Сергиевский Э.Д., Хомченко Н.В., Овчинников Е.В. Расчет локальных параметров течения и теплообмена в каналах: изд. МЭИ, 2001 г. 60 с.
3. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 2./ Под ред. Павлова Н.Н., Шиллера Ю.Н. Москва: изд. Строиздат, 1992 г. 416 с.

УДК 662.756.3

**СИНТЕЗ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ И  
ИЗОПРОПИЛОВОГО СПИРТА**  
**SYNTHESIS OF BIODIESEL FROM VEGETABLE OILS AND ISOPROPYL ALCOHOL**

**Станислав Александрович Нагорнов, Юлия Владимировна Мещерякова,  
Игорь Вячеславович Бусин, Александр Геннадьевич Мещеряков**  
**Stanislav A. Nagornov, Yulia V. Meshcheryakova, Igor V. Busin, Alexander G. Meshcheryakov**

*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и  
нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Россия, Тамбов*  
*Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Russia, Tambov*  
*(e-mail: snagornov@yandex.ru, yulya-belova@yandex.ru, igorek19883108@mail.ru,  
alex\_mec@bk.ru)*

*Аннотация:* Изучена возможность получения биотоплива реакцией переэтерификации растительного масла изопропиловым спиртом в присутствии кислотного катализатора. Определены оптимальные условия синтеза биодизельного топлива, а также его состав и физик-химические характеристики.

*Abstract:* Studied the possibility of obtaining biofuel reaction peretiraetsya vegetable oil isopropyl alcohol in the presence of acid catalyst. The optimal conditions for the synthesis of biodiesel, as well as its composition and physicist-chemical characteristics.

*Ключевые слова:* биодизельное топливо, изопропиловый спирт, кислотный катализатор, растительное масло.

*Keywords:* biodyzelino fuel, isopropyl alcohol, acid catalyst, vegetable oil.

Получение биодизельного топлива из растительного масла описывается реакцией алкоголиза, которая протекает в присутствии катализатора. Для получения биодизельного топлива возможно использование различных спиртов: метиловый [1], этиловый [2], пропиловый [3] и т.д. Метиловый спирт наиболее эффективный при реакции переэтерификации, однако он самый опасный из спиртов. Использование этилового спирта также ограничивается рядом проблем: дорогой, облагается акцизом. Применение пропилового, и его изомера изопропилового спиртов наиболее перспективно, так как он сравнительно недорогой и содержание воды менее 0,1%. Кроме того, для синтеза биотоплива его нужно меньше, чем метанола и этанола. Известно, что изопропиловый спирт не в полной мере этерифицирует триглицериды, около 11%. Для устранения этой проблемы используют высокое давление и температуру до 200°C, за счет этого возрастает стоимость производства [4].

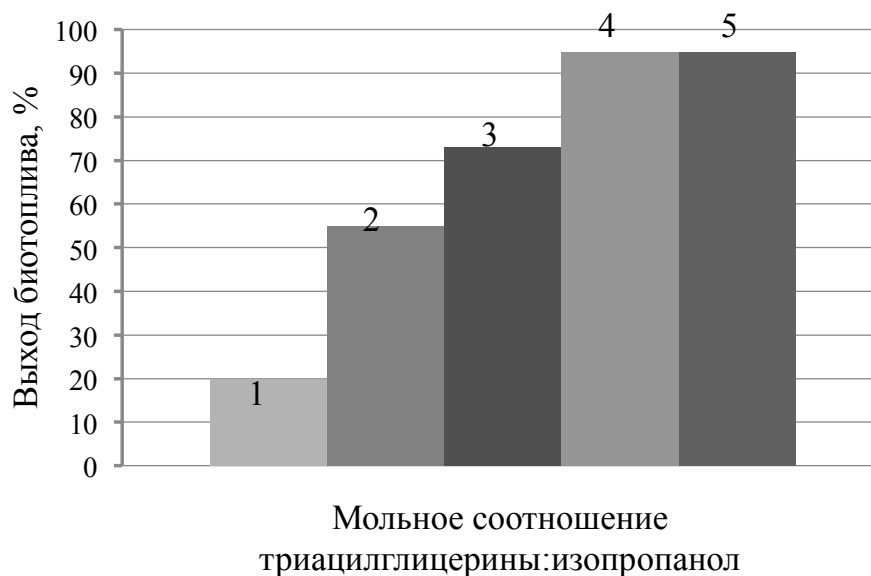
Широкое распространение получили гомогенные реакции алкоголиза в присутствии щелочного катализатора, что позволяет провести реакцию в мягких условиях. Однако щелочные катализаторы чувствительны к качеству сырья. Свободные жирные кислоты, находящиеся в масле могут взаимодействовать с щелочным катализатором с образованием мыла, что не характерно для кислотных.

В связи с этим целью данной работы явилась оптимизация процесса переэтерификации растительных масел низкомолекулярным спиртом.

Синтезировалось биодизельное топливо по реакции переэтерификации в присутствии кислотного катализатора (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) на магнитной мешалке при температуре 70 °C в течении 8 часов. Использовалось масло непищевых масленичных растений: молочая, индау. Определение состава биодизельного топлива осуществляли спектроскопическим и хроматографическим методом. Установление функциональных групп проводили с

использованием ИК-Фурье спектрометра «*Infracum FT-801*», а установление жирнокислотного состава с помощью газового хроматографа «Кристалл 2000М».

На рисунке 1 представлена зависимость выхода биодизельного топлива от соотношения реагентов триацилглицерина:изопропиловый спирт.



1 – 1:3; 2 – 1:5; 3 – 1:10; 4 – 1:20

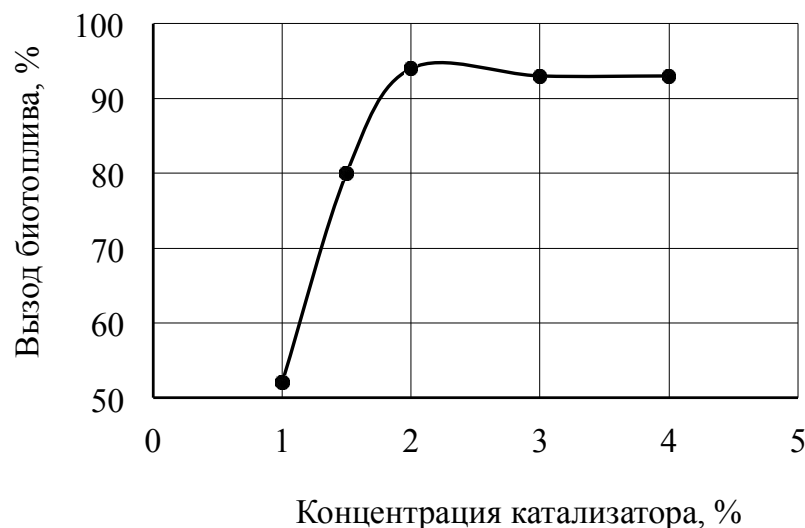
**Рисунок 1 – Зависимость выхода биодизельного топлива от мольного соотношения триацилглицерина – спирт**

На рисунке 2 представлена зависимость выхода биодизельного топлива от концентрации катализатора.

Оптимальные результаты получены при мольном соотношении реагентов триацилглицерина:изопропиловый спирт 1:20 и концентрации кислотного катализатора 2,5%.

В результате хроматографического анализа установлено, что биодизельное топливо в основном содержит изопропиловые эфиры линолевой, олеиновой, пальмитиновой кислот.

Физико-химические характеристики полученного биодизельного топлива представлены в таблице 1.



**Рисунок 2 – Зависимость выхода биодизельного топлива от мольного соотношения триацилглицерина – спирт**

**Таблица1 – Физико-химические показатели топлив**

Показатель	Биодизельное топливо
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	875
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	4,3
Коксуемость 10 %-го остатка, %	0,3
Цетановое число	58
Сульфатная зольность, % (масс.)	0,01
Содержание воды, мг/кг	400
Содержание серы, мг/кг	менее 10
Температура вспышки, °С	130

Вывод. Показана возможность синтеза биодизельного топлива из растительных масел с изопропиловым спиртом в присутствии кислотного катализатора. Оптимальные результаты получены при использовании изопропилового спирта в избытке и концентрации катализатора 2,5%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мещерякова, Ю.В. Синтез биодобавки к дизельному топливу / Ю.В. Мещерякова, С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, А.Г. Мещеряков, И.В. Ерохин // Наука в центральной России. 2016. - №1. – С. 15-22.
2. Курсевич, В.Н. Получение и свойства этиловых эфиров рапсового масла / В.Н. Курсевич, З.А. Антонова, В. С. Крук, Ю.В. Максимук, М.Г. Кривова // Вестник БГУ. сер. 2. 2015. № 1 с.7-12
3. Ринк Л.И., Собченко Ю.А. Мини-установка по производству биодизеля из растительного масла и изопропилового спирта. Альтернативная энергетика и экология. 2015. - №13-14 (177-178). – С. 91-97.
4. Будько, М.А. Исследование реакции переэстерификации в реакторах периодического действия / М.А. Будько, А.И. Василькевич // Альтернативная энергетика и экология 2012. - №03(111). – С. 91-97.



УДК 621.43

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ РЕГЕНЕРАТОРА ТЕПЛА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНЕШНЕГО СГОРАНИЯ  
A EFFECT OF THE HEAT REGENERATOR  
ON THE EFFICIENT HOT-AIR ENGINES**

**Виктор Иванович Гудков, Ростислав Иванович Соколовский  
Victor I. Gudkov, Rostislav I. Sokolowsky**

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

*Аннотация:* В работе представлена теоретическая модель теплового регенератора для машин Стирлинга и Эриксона с внутрицикловым аккумулярованием тепла. Установлено решающее влияние теплового аккумулятора на термический КПД цикла.

*Abstract:* The work has to do with theoretical model of the heat regenerator for the Stirling and Ericson engines with in-cycle storage of heat. A determining effect of the heat regenerator on the engine- cycle thermal efficiency has been demonstrated.

*Ключевые слова:* тепловой двигатель, регенератор тепла, рабочий цилиндр, КПД  
*Keywords:* thermal engine, heat regenerator, operating cylinder, efficiency.

Непременным атрибутом двигателей внешнего сгорания Стирлинга или Эриксона является регенератор. В двигателе Эриксона уходящее из горячего цилиндра в атмосферу рабочее тело отдает тепло набивке регенератора, а поступающая из компрессора новая порция сжатого газа проходит через регенератор и нагревается, отбирая тепло от набивки регенератора. В двигателе Стирлинга способ регулирования давления рабочего тела состоит в перекачке за цикл рабочего тела из области, находящейся в контакте с горячим источником тепла, в область, контактирующую с холодным источником тепла и обратно. В течение цикла происходит периодическое изменение внутренней энергии рабочего тела сравнимое с производимой работой. Тепло, отбираемое от уходящего из горячей области двигателя рабочего тела, накапливается в регенераторе, а затем в том же цикле используется для нагревания этого газа, сжатого в холодной области. Таким образом, чтобы исключить дополнительный подвод и отвод тепла и тем самым повысить энергетическую эффективность двигателя, применяются регенеративные теплообменники, сохраняющие тепло, которое нужно отвести, в процессе совершения цикла и затем возвращающие его рабочему телу при его повторном выполнении. Влияние на энергетическую эффективность двигателя Стирлинга способности теплообменника сохранять тепло анализировалось в работе [1]. В работе был дан анализ влияния свойств регенератора сохранять тепло на энергетическое совершенство двигателя. Было сформулировано представление об идеальном неинерционном аккумуляторе, в котором нет потерь тепла, и чей коэффициент полезного использования равен единице.

Инерционность протекающих в регенераторе процессов теплообмена определяется законами теплообмена, анализ которых представляет собой отдельную достаточно сложную задачу. Она связана как с конструкцией аккумулятора, так и со свойствами используемых материалов. В целом инерционность регенератора характеризуется постоянной времени регенератора  $\tau_0$ . Это тот промежуток времени, через который в системе практически установится состояние термодинамического равновесия. Другими словами, прекращается теплообмен между протекающим через регенератор рабочим телом и аккумулярующим тепло наполнением. Потери тепла из регенератора во внешнее пространство всегда можно уменьшить, применяя подходящие теплоизоляционные покрытия. Тепло, запасенное в

регенераторе, теряться не будет. Однако и теплообмен между рабочим телом и сохраняющим тепло наполнителем в регенераторе не будет эффективным, если он идет при работе двигателя не при оптимальных условиях.

Таким образом, необходимы более сложные теоретические модели, чем термодинамические, включающие процессы релаксации. Насколько на этом пути потери тепла в двигателе могут быть минимизированы, можно сказать только после их изучения. Тогда выбором входящих в модели параметров можно добиться повышения энергетической эффективности двигателя настолько, насколько это возможно, не выходя за рамки допущений, положенных в основу теории.

Рассмотрим простейшую одномерную модель регенератора в виде тонкостенного цилиндра, заполненного пористой средой (набивкой), которая служит для аккумуляции тепла. Цилиндр расположен между горячим и холодным источниками тепла. Направим ось  $x$  вдоль оси цилиндра так, что ее начало ( $x=0$ ) совпадает с холодным источником тепла, а горячий источник тепла имеет координату  $x=l$ . Распределение температуры набивки вдоль цилиндра описывается функцией  $\Theta(x)$ . Возьмем два близко расположенных сечения с координатами  $x$  и  $x+dx$ . Поле температур  $T(\tau, x)$  теплоносителя, текущего от горячего источника тепла к холодному, меняется с течением времени в связи с обменом теплом с набивкой. Считая поток массы через поперечное сечение регенератора стационарным, изменение температуры теплоносителя в рассматриваемом слое находим из первого закона термодинамики для потока

$$dq = \frac{\partial h}{\partial x} dx \quad (1)$$

Тепло, переданное теплоносителю от набивки в единицу времени, определяется законом Ньютона – Рихмана[2]

$$\dot{m}dq = \alpha_v F (\Theta - T) dx, \quad (2)$$

где  $\alpha_v$  - плотность коэффициента теплоотдачи,

$$\dot{m} = \rho w F$$

– расход теплоносителя в единицу времени через поперечное сечение регенератора площадью  $F$ ,  $w$  - скорость теплоносителя,  $\rho$  - его плотность. Характерный промежуток времени установления стационарного режима для тепловых процессов значительно превосходит аналогичную величину для гидродинамических процессов, в связи с чем в данный момент времени движение теплоносителя в регенераторе можно считать установившемся с некоторой скоростью расхода массы через единицу поперечного сечения

$\mu = \frac{\dot{m}}{F}$ , определяемой характером движения поршней.

Из уравнений (1),(2) следует уравнение для поля температур в регенераторе в данный момент времени

$$\mu \frac{\partial h}{\partial x} = -\alpha (T - \Theta). \quad (3)$$

Считая рабочее тело идеальным газом, из формулы (3) найдем что

$$\mu c_p \frac{\partial T}{\partial x} = -\alpha_v (T - \Theta_0). \quad (4)$$

В уравнение (4) время входит как параметр, определяемый углом поворота коленчатого вала. Интегрируя уравнение, находим формулу, которая связывает температуры на входе и

на выходе регенератора в данный момент времени или при данном угле поворота коленчатого вала:

$$T(l) = T_1 - (T_1 - T_2) \cdot F(\varepsilon), \quad (5)$$

где

$$F(\varepsilon) = \frac{1}{\varepsilon}(1 - e^{-\varepsilon}), \quad \varepsilon = \frac{\alpha_v l}{\mu c_p}.$$

Определим время релаксации  $\tau_0$  из условия, что за это время поток массы  $\mu_0$ , проходящий через регенератор, нагреется от температуры  $T_2$  до температуры  $T_1$  горячего источника тепла

$$c_p \mu_0 \tau_0 F(T_1 = T_2) = \alpha_v l \tau_0 (T_1 - T_2),$$

откуда

$$\mu_0 = \frac{\alpha_v l}{c_p},$$

а, следовательно,

$$\varepsilon = \frac{\mu_0}{\mu} = \frac{\tau}{\tau_0}.$$

Время  $\tau_0$  является характеристикой регенератора, которая может быть измерена экспериментально. При  $\varepsilon \ll 1$ , ( $\tau \ll \tau_0$ )

$$F(\varepsilon) = \frac{1 - e^{-\varepsilon}}{\varepsilon} \approx \frac{1 - (1 - \varepsilon)}{\varepsilon} = 1,$$

а из (5) следует, что

$$T(l) \rightarrow T_1 - (T_1 - T_2) = T_2,$$

т.е. рабочее тело, проходя через регенератор, практически не нагревается. В другом предельном случае  $\varepsilon \gg 1$ , ( $\tau \gg \tau_0$ ), из (5):  $T(l) \rightarrow T_1$ . Выходящий из регенератора газ имеет температуру горячего источника тепла.

При равномерном вращении вала двигателя, которого обычно добиваются, увеличивая массу маховика, вместо промежутка времени  $\tau_0$  введем угол поворота  $\alpha_0$ , на который повернется маховик за это время. Таким образом, эффективность регенератора данного двигателя будет характеризоваться тем, какая доля одного оборота затрачивается на процесс «полного» теплообмена в регенераторе. Чем больше величина этой доли, тем меньше КПД двигателя, т.е. меньше его энергетическая эффективность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гудков В.И., Соколовский Р.И. Термодинамический анализ двигателя Стирлинга схемы бета // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2012. № 2. С. 35-38.

УДК 37

**МЕТОДОЛОГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИФРОВЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**  
**METHODOLOGY OF ENERGY SAVING IN THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES  
IN THE EDUCATIONAL PROCESS**

**Михаил Александрович Мастер**  
**Michael A. Master**

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

*Аннотация:* В данной статье рассмотрены проблемы энергосбережения в рамках учебного процесса при обучении студентов с использованием цифровых технологий (направления Телевидение и другие). Предложены методы, указаны результаты их апробации в Учебно-научном комплексе РГУ им. А.Н. Косыгина.

*Abstract:* In this article, the problems of energy saving in the educational process, when teaching students in the direction of Television. Methods are proposed, the results of their approbation are indicated in the Scientific and Educational Complex of the Russian State University A. N. Kosygin.

*Ключевые слова:* энергосбережение, учебный комплекс, телевидение, телепроизводство, освещение, осветительные приборы, технологии передачи данных, цифровые технологии, методология

*Keywords:* energy saving, training complex, television, TV production, lighting, lighting systems, data-transfer technologies, digital technologies, methodology

Одна из ключевых проблем современного технологического мира – огромное, часто неуместное, потребление ресурсов, особенно энергетических. Современное теле- и кинопроизводство сталкивается с этой проблемой не меньше любого другого направления деятельности человека. Несмотря на небольшие занимаемые площади, отсутствие видимых невооруженным глазом выбросов, телепроизводство до недавнего времени использовало огромное количество ресурсов, требующих специальной утилизации, а также потребляло не малые мощности для организации как самого съемочного процесса, так и эфирного вещания, либо демонстрации материалов в кинозалах.

В настоящее время ВУЗы активно развивают направления, связанные с видео и фото съемкой, монтажом: это направление Телевидение (операторское дело, режиссура монтажа), Журналистика и др.

В связи с быстрым изменением технологий и требований наблюдается потребность в создании новых методик, соответствующих уровню развития общества и техники. Во многих исследованиях указывается необходимость обновления разработок инновационного подхода к оснащению лабораторий, например в трудах Григорьева С.Г., в частности в статье "Разработка и использование средств информатизации в институте математики и информатики МГПУ" [1]. Автор настоящей статьи выделяет в качестве одного из главных инновационных компонентов такого оснащения - энергосбережение.

Современные тенденции образования в области съемочных и монтажных технологий требуют материального обеспечения образовательного процесса, позволяющего приблизить студентов к практическому освоению профессионального уровня. Подобные комплексы создаются с целью овладения студентами профессиональными умениями и навыками в соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов.

Создание технологически насыщенного комплекса создает большую нагрузку на энергетические линии. Поэтому актуальны энергосберегающие подходы к использованию технических средств обучения на высшем уровне образования и переподготовке студентов с высшим образованием направлений, связанных с видеосъемкой и постпроизводством.

Применение энергосбережения - инновационный подход к технологии предметного образования. Меры по энергосбережению проводятся также на кафедрах информационных технологий под руководством И.Б. Разина и А.В. Фирсова (и других), однако съемочные технологии имеют свою специфику.

Данное исследование отражает основные структурные компоненты научной отрасли «Теория и методика предметного образования», ориентировано на разрешение актуальных проблем развития образования в части технологического обеспечения процесса. Исследуя образовательный процесс в области мультимедиа технологий на базе специального технологического обеспечения, автором статьи были выявлены проблемы с большой энергетической нагрузкой.

Частично результаты были отражены автором в научно-исследовательской работе «Концепция создания научно-учебного комплекса и методологии образовательного процесса в области мультимедийных технологий», созданной в рамках НИР Российского Государственного Университета им. А.Н. Косыгина для АНО «Телевизионный учебный центр «ТВ СОКОЛ» в 2016 году.

Анализ тенденций методического и технологического обеспечения образовательного процесса проводился в течение 2015-2016 и 2016-2017 учебных годов. Данный анализ инновационной и опытно-экспериментальной педагогической деятельности как источник информации показал, что энергосбережение в процессе использования технологического оборудования является неотъемлемым элементом внедряемых технологий. Можно выделить несколько наиболее важных аспектов:

1. Освещение и осветительные приборы в программе энергосбережения.
2. Инновационные подходы к технологии передачи данных
3. Первичная обработка полученных данных и монтаж готового материала
4. Энергосберегающее доведение полученного медиапродукта до зрителя.

В процессе разработки программы энергосбережения в Учебно-научном комплексе в качестве апробации были проведены определенные мероприятия. Анализ эффективности проведенных мер показал значительное уменьшение энергозатрат.

*Освещение и осветительные приборы в программе энергосбережения.*

Рассмотрим последовательно основные этапы создания медиапродукта, на которых потребление энергии особенно высоко. В первую очередь, это съемочный процесс, включающий в себя, как собственно съемочное оборудование, так и оборудование лаборатории, съемочных павильонов.

Основную нагрузку на съемочной площадке создают осветительные приборы. Еще недавно отраслевым стандартом считались лампы накаливания (в основном, заполненные инертными газами) и газоразрядные лампы, в первую очередь - металлогалогенные. Сегодня многие теле- и кинокомпании продолжают использовать оборудование подобного типа. Однако уже в 1987-м году компания Kinoflo представила новые источники света, базирующиеся на газоразрядных лампах, однако не имеющие их основных недостатков. Kinoflo обладает практически сплошным спектром против полностью линейчатого у обычных осветителей, а также отсутствием мерцания при стандартных скоростях съемки, а также измененным спектром излучения, обеспечившим выбор цветовой температуры (5500К и 3200К) и снизивший ИК излучение. Отношение светового потока к потребленной мощности значительно выросло. Обратимся к примерам в цифрах: для получения светового потока в 1000 Люмен лампа накаливания затрачивает энергию в размере 100 Вт. Галогенная лампа для получения того же потока требует 65-75 Вт, Kinoflo - 20 Вт, а светодиодная 11 Вт.

Следует рассмотреть и сами теле- и кинокамеры. Потребляемая мощность этих устройств невысока и не принципиальна. При этом в 2000 году уровень чувствительности в

ISO 100 для телекамеры был повышенным. В настоящий момент телекамеры работают с номинальной чувствительностью ISO 100-200, а при включенном усилении обеспечивают качественное изображение вплоть до ISO 64000. Следует рассмотреть и фотоаппараты с возможностью видеосъемки, так используемый в учебно-научном комплексе РГУ им. А.Н. Косыгина фотоаппарат Sony Alpha 7s mark II, анонсированный в 2015-м году, позволяет получать видеоматериалы вещательного качества при ISO 256 000.

Все это привело к снижению уровня освещенности кино- и телеплощадок, а также меньшим требованиям по свету на выездных съемках. Телекамеры снизили требования к свету от двух до восьми раз. Это позволило применить большое количество светодиодных осветительных приборов. На сегодняшний день в съемочных павильонах Учебно-научного комплекса РГУ им. А.Н. Косыгина в результате применения предложенной энергосберегательной программы порядка 50% светового потока генерируется осветителями Kinoflo, 30% светодиодными панелями и прецизионными источниками и лишь 20% галогеновыми. На выездных съемках студенческие группы обеспечены светодиодным освещением на 100%.

Особенностью ламп накаливания и приборов Kinoflo является обязательный их прогрев в течение 30-60 минут перед началом работы. Единственным источником света, готовым к мгновенной работе, являются светодиодные осветители. На практике, к примеру, логичнее оставить лампы накаливания включенными во время 40-минутного перерыва. В связи с этим, люминесцентные и галогенные приборы работают практически полный день. Но в нашем Учебно-научном комплексе широко применяются в рамках энергосберегательной программы светодиодные источники, так как они подключаются непосредственно перед съемкой. Источники старого типа работают примерно по 7-8 часов ежедневно, светодиодные - 2-3 часа и дают заметную экономию энергоресурсов. Использование новых технологий обеспечивает учебно-научному комплексу более, чем 10-кратную экономию. А после завершения перехода к новому оборудованию, экономия дойдет до двадцатикратной.

#### *Инновационные подходы к технологии передачи данных.*

После получения исходных материалов возникает вопрос передачи этих данных для дальнейшей обработки. До сегодняшнего дня можно встретить на улице автомобиль ПТС - передвижную телевизионную станцию. На борту классической ПТС установлены пульта линейного монтажа, а также передающее оборудование не менее, чем на 200 Вт излучаемой мощности, таким образом, для передачи в эфир требуется около 4-5 кВт энергии. Работа оборудования имеет высокую теплоотдачу, которую необходимо отводить и гасить, что выполняют системы кондиционирования. Так как не менее 70% потребляемой энергии преобразуется в тепловую, требуется отвести около 3 кВт тепла, для чего затрачивается порядка 1700 Вт. При этом, необходимо использовать концепцию "умного дома", где, по словам С.Г. Григорьева "нехарактерное для традиционного жилья согласованное использование подсистем кондиционирования и отопления с учётом погодных условий, времени суток, потребностей конкретных людей не только формирует наиболее комфортные климатические условия для проживания в доме, но и способствует эффективному ресурсосбережению" [2].

Оптимальным выходом на данный момент автору настоящей статьи видится отказ от использования ПТС в населенных пунктах. Сети Wi-Fi и GPS с поддержкой протоколов GPRS, EDGE и т.п., позволяют вести трансляцию непосредственно с камеры. На базе Учебно-научного комплекса РГУ им. А.Н.Косыгина проходит апробация технология передачи данных посредством интерфейса Wi-Fi, ведется работа над переходом на технологию Live-U, представляющую набор из нескольких передатчиков мощностью до 250 мВт, а также балансировщика трафика. Данная технология позволяет одновременно снизить затраты энергии на передачу информации, отказаться от системы линейного монтажа, а также обеспечить выезд съемочной команды без специализированного автотранспортного средства, а в отдельных случаях и вовсе на общественном транспорте.

#### *Первичная обработка полученных данных и монтаж готового материала.*

Следующим этапом является первичная обработка полученных данных и монтаж готового материала. Полный отказ от ленточного (кассетного) оборудования в методике преподавания, применяемой на кафедре Журналистики и телевизионных технологий РГУ им. А.Н. Косыгина позволил свести к минимуму использования сложных, затратных в обслуживании и энергоемких магнитофонов. Однако основным потребителем при обработке данных в телевизионной студии ранее являлись монтажные столы, представляющие из себя совокупность воспроизводящего, записывающего оборудования, коммутации, систем обработки сигнала в реальном времени. Преимуществом такой системы является простота в освоении. Однако, на практике монтажные столы кардинально отличаются друг от друга, в связи с чем изучение такого оборудования в рамках программы высшего образования видится автору бесперспективным. В то же время, использование технологий нелинейного монтажа позволяет перенести весь процесс от захвата материала до выпуска в эфир или интернет на специальные компьютеры, которые, как заметил И.Б. Разин, "стали мощным средством быстрого и экономичного создания изображений" [3]. Использование аппаратного обеспечения для обеспечения режима работы в реальном времени с материалами формата DVcam, приводит к существенному снижению нагрузки на электросеть комплекса. Рассмотрим систему линейного монтажа на 4 камеры и систему нелинейного монтажа, применяемую в учебном процессе. Потребляемая мощность стола линейного монтажа DVcam может составить до 5 кВт. Компьютеры нелинейного монтажа потребляют не более 750-800 Вт. Особенностью использования компьютеров является снижение потребляемой мощности при монтаже и повышение ее при рендеринге (просчете видеосигнала для дальнейшей выгрузки в требуемый формат). При этом важно понимать, что специалист, имеющий опыт работы с системой нелинейного монтажа с легкостью освоит монтажный стол любой сложности, в то время, как специалист, подготовленный к работе с системой линейного монтажа должен проходить переподготовку для работы на нелинейных системах.

*Энергосберегающее доведение полученного медиапродукта до зрителя.*

Последним этапом работы любой телестудии является доведения полученного медиапродукта до зрителя. Опираясь статью Ю.Н. Носова [4] можно выделить несколько активно используемых методов передачи медиаинформации потребителю, требующих внедрения энергосберегающих технологий. Это и эфирное вещание, и современные средства трансляции аудиовидеопотока через сети TCP/IP. В Учебно-научном комплексе РГУ им. А.Н. Косыгина автором были апробированы и внедрены методы интернет-вещания, а в настоящий момент ведется работа над интернет-вещанием в реальном времени.

В заключение можно сделать вывод, что энергосбережение должно быть учтено в методологии проектировании предметной среды образовательного процесса. Подобное практическое внедрение методов и технологий в создании технологического оснащения и его эксплуатации позволило апробировать результаты инновационных подходов, данные результаты могут быть рекомендованы ВУЗам, использующим подобное оборудование.

Разработка и научное обоснование предложений об обновлении технологического оснащения в области цифровых (мультимедиа) технологий в условиях образования, а именно о необходимости принципа энергосбережения при планировании и создании Учебных комплексов актуальны в условиях развития и обновления многих образовательных площадок.

*Работа выполнена на базе деятельности Учебно-научного комплекса  
РГУ им. А. Н. Косыгина*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев С.Г. Разработка и использование средств информатизации в Институте математики и информатики МГПУ // Вестник Московского Городского Педагогического Университета. Серия: Информатика и информатизация образования. 2013. №2 (26). С. 19-20

2. Григорьев С.Г., Гриншкун В.В., Реморенко И.М. "Умная аудитория» - шаг на пути к интеграции средств информатизации образования // Вестник Российского Университета Дружбы Народов. Серия: Информатизация образования. 2014. №1. С. 17

3. Разин И.Б., Миронов В.П., Муртазина А.Р. Методы сегментации изображений // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (Инновации - 2014), сборник материалов Международной научно-технической конференции. М.: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет дизайна и технологии". 2014. С. 91

4. Носов Ю.Н. Антенны и энергосбережение // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. 2013. № 4+5. С. 44-47

УДК 632.937.32

**СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ БИОБЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В  
СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ  
MEASURING INSTRUMENTS FOR BIO-SAFE TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE**

**Олег Дмитриевич Богатырев  
Oleg D. Bogatyrev**

*Российский НИИ сельскохозяйственного приборостроения  
(ОАО «РНИИ Агроприбор»), Россия, Москва  
Russian Research Institute of agricultural instruments, Russia, Moscow  
JSC (RSRI (Agropribor)  
( e-mail: oleg.bogatyrev@agropribor.com )*

*Аннотация:* Рассмотрены особенности проведения измерений в технологии массового разведения агентов биологического контроля вредителей сельхозкультур. На примере массового разведения энтомофага – трихограммы показана специфика средств измерений. Показано, что для минимизации производственных рисков и дальнейшего процесса автоматизации производства необходимы средства измерения нового поколения. Они должны интегрироваться в информационные технологии сопровождения процесса массового разведения агентов биологического контроля вредителей сельскохозяйственных культур

*Abstract:* The features of measurements in technology of mass rearing biological control agents of plant pests. For example, mass-rearing of Trichogramma specifics of measuring instruments. It is shown that for minimizing production risks and further process automation in the manufacturing measuring instruments of new generation. They should be integrated in the information technology support of the process of mass-rearing of biological control agents of pests of agricultural plants.

*Ключевые слова:* средства измерений, биобезопасные технологии, информационные технологии, автоматизация.

*Keywords:* measurement, controls, bio-safe technology, information technology, automation.

Основными факторами, сдерживающими применение биологических средств защиты растений являются высокая стоимость получаемой продукции и отсутствие комплексной системы средств измерения, адаптированной к современным конкурентоспособным технологиям массового разведения агентов биологического контроля.

Увеличение объемов производства качественной сельхозпродукции и обострение конкуренции на рынке современных средств защиты растений требуют привлечения перспективных цифровых средств измерения параметров технологического процесса и



качества исходного сырья. Для массового производства агентов биологического контроля зачастую необходима развитая контрольно - измерительная инфраструктура, помогающая существенно повысить эффективность производства и информационного сопровождения продукции.

Особое место по эффективности применения среди агентов биологического контроля занимают энтомофаги и наибольшее распространение получило применение трихограммы. Относительно низкая стоимость массового разведения этого энтомофага, возможность его использования против многочисленных вредителей сельхозкультур, эффективность практического применения определяют необходимость работ по совершенствованию технологий его разведения. Действующие отечественные биофабрики по массовому разведению трихограммы не в состоянии обеспечить увеличивающиеся потребности сельхозпроизводства и в связи с этим растет импорт трихограммы. Также, многолетняя эксплуатация оборудования и анализ наиболее распространенных технологий производства трихограммы выявили основные существующие недостатки, не позволяющие биофабрикам выпускать конкурентоспособную продукцию. Наиболее значимый из них — отсутствие единой измерительной инфраструктуры технологического процесса, связанной с информационными технологиями.

К наиболее трудоемким и ответственным операциям технологического процесса массового разведения трихограммы следует отнести следующие работы :

- хранение, очистка и обеззараживание зерна,
- содержание зерновой моли и сбор ее яиц,
- заражение яиц ситотроги трихограммой и сбор зараженных яиц,
- длительное хранение и расселение трихограммы.

В общем случае технологию массового разведения трихограммы можно условно разделить на два этапа : производство яиц зерновой моли и разведение собственно трихограммы. Современное производство трихограммы предусматривает еще два важных технологических процесса : обновление и накопление маточных культур. При этом необходим контроль качества трихограммы.

Проведенный анализ работы биофабрик, спроектированных ранее НПО «Агроприбор» выявил, что для достижения конкурентоспособности выпускаемой продукции необходимо использования средств измерения нового поколения.

В таблице 1. Приведены показатели качества сырья и параметры технологического процесса , которые необходимо контролировать в процессе разведения трихограммы.

**Таблица 1. Показатели качества сырья и параметры технологического процесса**

№	Исходное сырье и этапы технологического процесса	Контролируемые параметры	Последствия не соблюдения параметров процесса
1.	Кондиционное зерно (сортовой ячмень).	Масса, размер, влажность, температура, засоренность.	Низкий процент заражения зерна, слабые особи в отрождающейся популяции зерновой моли.
2.	Процесс заражения зерна зерновой молью.	Качество и количество яиц зерновой моли, предназначенных для заражения зерна, показатель обеззараживания, влажность и температура зерна.	Слабые особи в отрождающейся популяции зерновой моли и их недостаточное количество.
3.	Процесс отрождения имаго зерновой моли.	Срок сбора, сортировка по дням откладки , динамика вылета зерновой моли из зерна.	Низкое качество и количество отрождающихся имаго зерновой моли.

		Влажность и температура зерна.	
4.	Сбор яиц зерновой моли и их заражение трихограммой.	Показатели количества и качества зараженных яиц.	Низкий процент заражения яиц зерновой моли.

Таким образом, современные биофабрики могут обеспечить показатели по количеству и качеству массового разведения агентов биологического контроля (на примере энтомофага — трихограммы) только при постоянном контроле параметров технологического процесса.

Для минимизации производственных рисков и дальнейшего процесса автоматизации производства необходима интеграция информационных технологий в процесс массового разведения агентов биологического контроля вредителей сельскохозяйственных культур.

Средства измерения показателей качества исходного сырья и параметров технологического процесса (которые были реализованы в биофабриках прошлых лет выпуска) в настоящее время не отвечают современным требованиям в части интеграции с информационными технологиями, а также своими техническими характеристиками.

Практический опыт работы на биофабриках показал что из-за относительно большой площади, которую занимает технологическое оборудование, а также большого количества вспомогательного оборудования недостаточно на отдельных этапах процесса производства локально контролировать основные параметры исходного сырья: температуру, влажность сортового зерна. Необходимы информационные системы, позволяющие проводить постоянный мониторинг с последующим анализом этих параметров. Также необходим контроль температуры, влажности, освещенности с необходимой точности на всех вспомогательных этапах технологического процесса.

Это позволяет начать переход к концепции разработки биофабрик нового поколения. Высокие технико-эксплуатационные характеристики автоматизированных биофабрик с возможностью масштабирования и развитым информационным сопровождением контроля качества продукции важны и для принятия оптимальных решений в производственных задачах, т.к. позволяют существенно снизить себестоимость полученной продукции, минимизировать производственные риски и предоставить дополнительный сервис.

Таким образом, внедрение нового поколения средств измерения параметров процесса производства и интеграция информационных технологий в технологии массового разведения агентов биологического контроля, позволит существенно повысить конкурентоспособность продукции и выйти на новые экономические показатели этого сегмента рынка.

УДК 631.4

**К ВОПРОСУ О ВЗАИМОСВЯЗИ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ С ЕЁ СТРУКТУРОЙ И ПАРАМЕТРАМИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**  
**THE DEPENDENCE OF SOIL MOISTURE AND ITS STRUCTURE AND PARAMETERS OF THE EXTERNAL ENVIRONMENT**

**Ольга Дмитриевна Ерохина**  
**Olga D. Erokhina**

*ОАО «Российский НИИ сельскохозяйственных приборов», Россия, Москва*  
*JSC «RSRI «Agropribor»*  
*(e-mail: jasmine518@inbox.ru)*

*Аннотация.* Показана важность знания влажности почвы. Изложены результаты исследований взаимосвязи влажности почвы с температурой почвы, температурой и

влажностью приземного слоя воздуха. Рассмотрены методы определения этого параметра, их недостатки, а также необходимость разработки влагомера для каждой климатической зоны.

*Abstract:* it is necessary to know the soil moisture. The results of studies on the relationship of soil moisture with soil temperature, temperature and humidity of the surface air. The methods of determining this parameter, their shortcomings and the need for the development of moisture meter for each climate zone.

Ключевые слова: почва, влажность, температура, воздух, взаимозависимость.

*Keywords:* soil, humidity, temperature, air, their interdependence.

Влажность почвы – это чрезвычайно важный параметр: от количества влаги в почве зависит состояние самой почвы и почвенной микрофлоры; степень концентрации почвенного раствора; рост и развитие растений, а, значит, в конечном итоге, величина и качество урожая.

Если на переувлажненных полях начнёт работать тяжёлая техника, это неизбежно приведёт к переуплотнению почвы, разрушению её структуры, что, в свою очередь, приводит к тому, что в течение всей вегетации сельскохозяйственные растения будут сильно страдать от недостатка воды и воздуха в почве; неизбежно образуется плужная подошва и уплотняется нижележащий почвенный горизонт, что также приводит к нарушению водного и воздушного режимов почвы; корневая система в таких условиях плохо развивается, а это приводит к недостаточному потреблению растениями элементов питания – поэтому очень важно знать влажность почвы перед началом весенне-полевых работ.

В течение вегетации также очень важно знать влажность почвы. В тех точках поля, где влажность повышена, могут образоваться очаги патогенной микрофлоры, следовательно, чтобы вовремя принять меры к её уничтожению, необходимо своевременно выявлять такие места. На тех полях, где применяется полив, оперативное знание влажности почвы совершенно необходимо, чтобы вовремя производить поливы с точной нормой – это позволит экономить воду, а также создавать оптимальные условия развития для сельскохозяйственных растений.

Влажность почвы тесно связана с климатом; в каждой климатической зоне формируется свой тип почвы, и эти типы почв различаются между собой по многим параметрам, в частности, по плодородию, структурности и водно-воздушному балансу.

Различают несколько типов почвенной влаги: свободная (гравитационная) вода – это та вода, которая заполняет крупные почвенные поры; парообразная влага находится практически в любых порах почвы; химически связанная и кристаллогидратная влага входит в состав молекул и почвенных коллоидов, эта влага растениям недоступна; гигроскопическая – адсорбированная частичками почвы влага из атмосферы – также недоступна растениям; капиллярная влага – это вода, заполняющая мелкие капилляры почвы – этот вид влаги легкодоступен растениям и является основным источником поступления воды в растение.

Для определения влажности почвы применяются различные методы. Известно несколько способов (методов) определения влажности почвы, которые можно объединить в следующие группы:

- весовой (термостатно-весовой), основанный на высушивании и взвешивании образцов почвы;
- тензиометрический, основанный на измерении напряжения почвенной влаги поверхностными силами, возникающими на границе фаз;
- радиоактивный, в основу которого положено изменение интенсивности радиоактивного излучения помещенных в почву источников радиации при взаимодействии с молекулами воды или атомами водорода;
- электрический, при котором измеряются электрическое сопротивление, проводимость, ёмкость и индуктивность почвы, зависящие от ее влажности;
- оптический, при котором измеряется степень поглощения или отражения лучевой энергии, зависящие от влажности объекта;

- экспресс-методы: по состоянию растений, морфологическим признакам, физиологическим показателям, органолептическим признакам почвы, по которым определяют обеспеченность растений почвенной влагой и степень влажности почвы.

Недостатками известных способов определения влажности почвы и сроков проведения вегетационных поливов является значительная трудоемкость, энергоемкость и продолжительность процесса во времени, необходимость применения большого количества лабораторного оборудования, электрических, радиационных и других приборов, достаточно опасных для здоровья обслуживающего персонала и окружающих людей. Ряд способов определения влажности почвы характеризуется низкой точностью, недостаточной для их практического применения [1].

Некоторые западные фирмы (израильская Phyttech, австралийская Sentek и др.) разработали системы датчиков для определения влажности почвы, которые определяют, кроме этого, и ещё некоторые параметры почвы, например, кислотность, температуру, количество выпавших осадков и др. Но, во-первых, эти системы очень дороги, а во-вторых, они подходят тем странам, которые их разработали, в России их показания будут ошибочны, т.к. у нас и почвы, и климат совершенно другие.

В нашей работе исследуются почвенно-климатические показатели для поиска взаимозависимости влажности почвы и какого-либо климатического параметра или комплекса этих параметров, чтобы на основании такой взаимозависимости разработать прибор, позволяющий определять влажность почвы по косвенному признаку. Исследования проводились 4 года подряд на двух полях с разным агрофоном: одно поле занято многолетними травами, другое – зябь с последующим посевом на нём однолетних трав. Каждый последующий год немного корректировалась методика выполнения исследований. В 2016 году применялась следующая методика: измерения проводились один раз в неделю 3 раза в день, а именно: в 9-00, в 14-00 и в 19-00; в период до наступления физической спелости почвы измерения проводятся в течение пяти дней подряд. На поле с однолетними травами небольшой участок поля (там, где выполнялись измерения) выпалывался, чтобы почва была свободна от растительности. В предыдущие два года измерения выполнялись пять раз в день, но математическая обработка результатов измерений показала, что два промежуточных измерения не имеют значения; однолетние травы в точке выполнения измерений не выпалывались. Проводились измерения следующих параметров:

- 1) Влажность почвы: на месте измерений отбирались образцы с горизонтов 0-10 см и 10 - 20 см, т.к. на этой глубине располагается основная масса продуктивных корней растений; образцы снабжались этикетками с указанием места и времени отбора, а также почвенного горизонта. Измерение влажности выполнялось на приборе «Элвиз».
- 2) Влажность приземного слоя воздуха на высоте 0, 10 и 50 см от уровня почвы.
- 3) Температура почвы на глубине 0, 10 и 20 см.
- 4) Температура приземного слоя воздуха на высоте 0, 10 и 50 см от уровня почвы. Эти три параметра измерялись агромультиметром АММ, разработанным в нашем институте.

Результаты измерений заносились в таблицы; для каждого дня и каждого поля своя таблица. Затем на основании полученных данных были построены графики зависимости влажности почвы от других почвенно-климатических параметров.

Исследования данного, 2016-го года позволяют надеяться, что существует зависимость, по крайней мере, между влажностью и температурой почвы, но, для того, чтобы подтвердить этот вывод, работу необходимо продолжать. Возможно, в дальнейшем выявится взаимозависимость и с другими почвенно-климатическими параметрами; по крайней мере в первые 5 дней выполнения измерений такая зависимость чётко видна.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. «Виртуальный агроном», журнал «Агротехника и технологии» № 2 (48) март-апрель 2015 г., стр. 37-38.

УДК 631.15.006

**О СТАНДАРТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ  
ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ  
STANDARDIZATION OF MEASUREMENT TECHNOLOGIES AGRICULTURE**

**Лев Константинович Богомолов  
Lev K. Bogomolov**

*Российский НИИ сельскохозяйственного приборостроения  
(ОАО «РНИИ Агроприбор»), Россия, Москва  
Russian Research Institute of agricultural instruments, Russia, Moscow  
JSC RSRI (Agropribor)  
(e-mail: design@agropribor.com)*

*Аннотация:* Рекомендуется ввести стандарты предприятий на выполнение измерений в технологиях производства сельскохозяйственной продукции.

*Abstract:* it is recommended to enter the company standards on performance measurement in production technologies of agricultural products.

*Ключевые слова:* типовые стандарты сельскохозяйственных предприятий; контролируемые показатели; измерения.

*Keywords:* typical standards for agricultural enterprises; controlled indicators; measurement.

В сельскохозяйственном производстве измерения являются таким же обязательным элементом технологических процессов, как и в промышленности. Это обусловлено необходимостью оптимизации производственных затрат и выполнения требований к безопасности и качеству создаваемой продукции. Основная масса измерений, связанных с оценкой качества почв, удобрений, семян, кормов и производимой продукции, выполняется в агрохимических, ветеринарных и других лабораториях, а также при входном контроле на закупочных и перерабатывающих предприятиях. Стандарты устанавливают перечни контролируемых показателей и они измеряются по стандартным методикам при анализах проб исследуемых материалов. Обязательному контролю подлежат семена и реализуемая продукция (зерно, молоко, картофель и т.д.), а обязательность контроля качества почвы, кормов, удобрений строго не регламентирована.

Также, за редкими исключениями, не регламентированы правила контроля технологических процессов производства с.х. продукции. Профильные и зональные с.х. НИИ периодически разрабатывают и публикуют рекомендации по новым технологиям возделывания различных с.х. культур, производства молока и другой продукции. Но только в немногих рекомендациях указывается на необходимость контроля технологических параметров с помощью средств измерительной техники. При этом не всегда охватывается весь комплекс подлежащих контролю показателей, редко указываются требуемые точность и периодичность измерений.

Между тем, при возделывании зерновых культур необходимо оперативно контролировать в условиях сельхозпредприятия примерно 60 показателей состояния почвы, хранящихся семян, посевов, атмосферного воздуха, полученного зерна, а также процессов обработки земли и растений, уборки, обработки и хранения урожая. Кроме того, периодически в испытательных лабораториях районного и межрайонного уровня должны определяться химический состав почв и удобрений, посевные качества семян, показатели безопасности и качества зерна и выдаваться рекомендации по использованию результатов анализов.

На молочной ферме с помощью средств автоматизации, стационарных и переносных измерительных устройств, а также приборов прифермской лаборатории должны контролироваться не менее 40 показателей состояния животных, среды их обитания,

количества и качества расходуемых кормов, воды, произведенного молока. Периодически пробы кормов, воды, молока должны анализироваться на показатели безопасности и качества в районных или других испытательных лабораториях.

Конечно, опытные специалисты знают, например, при какой температуре почвы следует начинать посев, при какой влажности зерна проводить уборку урожая и т.п. Однако, отсутствие подробных и точных инструкций (стандартов) по выполнению всего комплекса измерений в процессах производства с.х. продукции является одной из причин нарушения технологической дисциплины и возможных экономических потерь. Известно, например, что опоздание с началом посева и началом уборки зерновых культур даже на один день приводит к существенной потере урожая (1 ÷ 2 ц/га). Контролируя температуру почвы весной и влажность поспевающего зерна в предуборочный период, эти потери можно исключить. Систематический контроль показателей состояния и продуктивности животных (надои, привесы, параметры качества продукции) обеспечивает возможность эффективного управления производственными ресурсами и процессами, способствует получению безопасной и конкурентной продукции.

В целях улучшения информационного обеспечения специалистов сельскохозяйственного производства в части выполнения и использования результатов измерений в технологиях производства зерна и молока в Рос. НИИ с.х. приборов (ОАО «Агроприбор») разработаны проекты типовых стандартов с.х. предприятий (СП) – «Измерения в технологиях производства зерна» и «Измерения в технологиях производства молока». В этих документах приведены перечни показателей, подлежащих инструментальному контролю, диапазоны и допустимые погрешности измерений, указаны периодичность и место выполнения измерений (анализов), рекомендованы современные средства измерительной и лабораторной техники, а также правила содержания и обслуживания измерительных приборов.

Сельскохозяйственные предприятия могут в добровольном порядке использовать типовые стандарты и при необходимости корректировать их с учетом специфики собственных производственных условий. Исполнение стандартов улучшит метрологическую дисциплину в сельском хозяйстве, будет способствовать повышению культуры и эффективности производства и обеспечит выполнение Технических Регламентов Таможенного Союза о безопасности зерна и молочной продукции.

Полезность предлагаемых документов в качестве стандартов сельхозпредприятий подтверждена специалистами ВНИИЗерна, ВНИИЖивотноводства им. Л.К. Эрнста и ВНИИМЖ. Проекты стандартов направлены в профильные Департаменты Минсельхоза РФ для принятия решений о их практическом применении.

УДК 621.929.6:531.3

**РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ И КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА  
СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ  
DEVELOPMENT OF EFFECTIVE METHODS AND CRITERIA OF GRAIN MATERIALS  
MIXING QUALITY ESTIMATION**

**Сергей Николаевич Черпицкий, Михаил Юльевич Таршис,  
Леонид Владимирович Королев  
Sergey N. Cherpitskiy, Mihail Y. Tarshis, Leonid V. Korolev**

*Ярославский государственный технический университет, Россия, Ярославль  
Yaroslavl State Technical University, Russia, Yaroslavl  
(e-mail: sergwinz@mail.ru, mutarshis@yahoo.com, korolevlv@mail.ru)*

*Аннотация:* Рассматриваются бесконтактный метод, и критерий определения качества сыпучей смеси. Метод позволяет оценить однородность смеси по распределению частиц ключевого компонента, наблюдаемого через прозрачную стенку рабочей камеры аппарата.

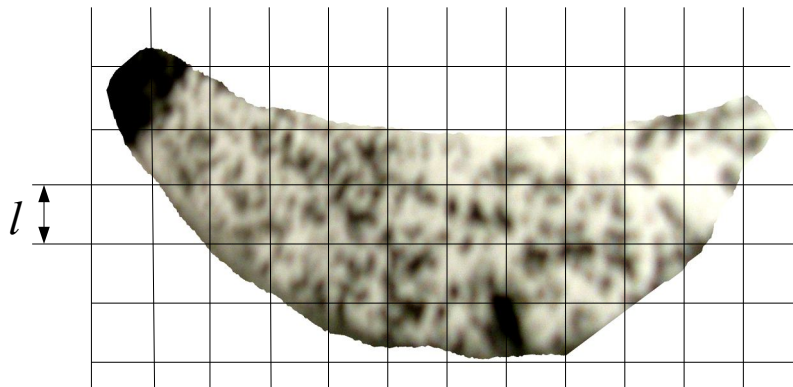
*Abstract:* The uncontact method and criterion of a quality definition of a grain mix are examined. The method allows to estimate a mix uniformity on the distribution of a key component particles observable through a transparent wall of the working device chamber.

*Ключевые слова:* метод, критерий, однородность, масштаб, распределение, сыпучий материал.

*Keywords:* method, criterion, uniformity, scale, distribution, grain material.

Решение задачи производства качественных сыпучих составов, используемых и выпускаемых в химической промышленности, металлургии, строительстве и многих других отраслях связано с необходимостью обеспечения контроля однородности материалов на всех производственных стадиях, в том числе, в режиме реального времени. Тем не менее, традиционное аппаратное обеспечение такого контроля не соответствует производственным потребностям. Оно оказывается либо дорогостоящим, либо устаревшим и несовершенным. Методики контроля и используемые критерии оценки качества смеси также являются далекими от совершенства. Традиционные методы [1], предусматривающие отбор контрольных проб по всему объему сыпучей массы с последующим их анализом, не удовлетворяют требованиям производства, ведут к неоправданному росту трудозатрат. Таким образом, очевидно, что разработка современных экспериментальных методов, позволяющих фиксировать качество смеси на любом этапе, исследовать эволюцию её в режиме реального времени, не прерывая работы аппарата и не внося искажений в пространственное распределение компонентов, является актуальной.

Для решения этой задачи предлагается достаточно простой бесконтактный метод оценки однородности смешивания сыпучих материалов, состоящий в следующем. Смешиваемые компоненты, отличающиеся по контрасту, загружаются в аппарат. В процессе смешивания скоростная фотокамера фиксирует поверхность смеси через прозрачную стенку его корпуса (например, барабана). Полученная информация обрабатывается с помощью компьютерной программы [2] с целью получения статистических характеристик распределения частиц ключевого компонента и критерия качества смеси. Программа рассчитывает мгновенные значения критерия качества смеси. Информация о состоянии смеси выводится на экран монитора (например, в виде кривой смешивания – зависимости критерия качества от времени). Отклонения параметров смеси от заданных могут корректироваться изменением параметров процесса и устройства. На рисунке 1 показано сечение сыпучей смеси, перерабатываемой в аппарате барабанного типа, «разбитое» на пробные ячейки.



**Рис. 1. Анализ изображения смеси**

Критерий (например, коэффициент неоднородности), вычисленный по изображению поверхности смеси, дает в среднем несколько смещенную оценку для объемного коэффициента неоднородности  $V_C$ , определенного согласно методике [1]. Для практического применения бесконтактного анализа смеси можно считать, что коэффициент неоднородности  $V_C$  лежит в пределах:

$$V_C = \sqrt{\max\left(0, \left(V_C^{(2D)}\right)^2 - 3\sigma\right)} \div \sqrt{\left(V_C^{(2D)}\right)^2 + 3\sigma}, \quad (1)$$

где  $\sigma = 4(d/l)\sqrt{(1-c_0)/c_0 n}$ ,  $d$  – средний диаметр частицы ключевого компонента.

Следует отметить отсутствие адекватных критериев качества сыпучих составов. Известные критерии имеют ограниченную применимость, из-за заложенной в них односторонности, неполноты информации о пространственном распределении частиц [1]. Эти критерии можно разделить на [2]:

а) «Макроскопические» критерии, которые учитывают только разброс концентраций ключевого компонента в пробах. Однако они не учитывают особенностей взаимного расположения отдельных частиц в пробе (а каждая проба содержит большое число частиц).

б) «Микроскопические» критерии, не учитывающие однородность в масштабах всего исследуемого объема.

Таким образом, отсутствие единого критерия качества, учитывающего информацию о распределении частиц смеси во всем диапазоне пространственных масштабов, особенно остро проявляется при исследовании и контроле процесса, в ходе которого происходят оба типа смешивания (макроскопического, и микроскопического, как правило, конвективного и диффузионного, соответственно). То есть, критерии должны учитывать как крупномасштабные неоднородности, связанные с неравномерным распределением компонентов по объему, так и мелкомасштабные, обусловленные недостаточно развитой поверхностью контакта ключевого и несущего компонентов. При оценке качества смеси, необходимо сохранение максимально полной информации о ее структуре на микроскопических (сравнимых с размером частицы  $d$ ) и на макроскопических (порядка размеров рабочего объема смесителя  $L$ ) масштабах. Это может быть обеспечено применением для оценки качества смеси новых спектральных критериев [2], учитывающих степень однородности пространственного распределения ключевого компонента в широком спектре масштабов. В качестве такого критерия можно принять величину

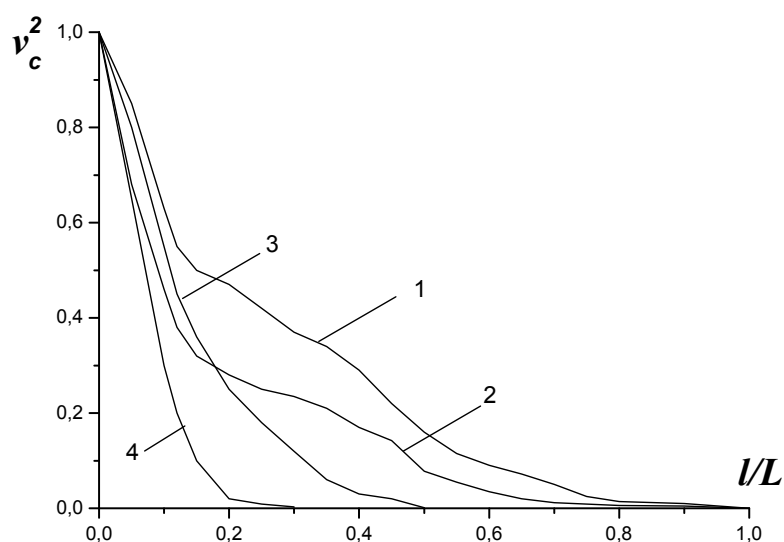
$$v_c^2(l) = \frac{1}{c_0(1-c_0)} \left\langle \left( \overline{c}(\vec{R}, l) - \left\langle \overline{c}(\vec{R}, l) \right\rangle_{\vec{R}} \right)^2 \right\rangle_{\vec{R}}, \quad (2)$$



где  $\bar{c}(\bar{R}, l) = \frac{1}{l^D} \int_{K(l)} c(\bar{R} + \vec{r}) dr^D$  – объемная концентрация ключевого компонента в пробе размером  $l$ , взятой в окрестности точки  $\bar{R}$ ,  $c_0$  – объемная доля ключевого компонента во всей смеси,  $D = 1, 2, 3$  – размерность пространства,  $\int_{K(l)} dr^D$  обозначает интегрирование по  $D$  – мерному кубу с ребром длины  $l$  и с центром в точке  $\bar{R}$ , а  $\langle \rangle_{\bar{R}}$  – усреднение по всем возможным точкам отбора проб,  $\vec{r}$  – радиус-вектор, определяющий положение частицы ключевого компонента.

Критерий (2), определяет неоднородность во всем спектре масштабов проб и исчерпывающе характеризует состояние смеси. На рисунке 2 показаны зависимости критерия (2) от размера пробы  $l$  для четырех характерных случаев ( $L = 1, c_0 = 0.2$ ). Случай 1 – ключевой компонент локализован на периферии объема  $L$  при небольшой поверхности контакта фаз; 2 – ключевой компонент локализован на периферии объема  $L$  при значительной площади поверхности контакта фаз; 3 – ключевой компонент распределен в объеме  $L$  при небольшой поверхности контакта фаз; 4 – ключевой компонент распределен в объеме  $L$  при значительном значении площади поверхности контакта фаз.

На рисунке 2 видна связь характера распределения ключевого компонента и вида спектра неоднородности (критерия (2)). Чем больше поверхность контакта фаз, тем круче угол наклона прямой в левой части спектра; чем равномернее распределен ключевой компонент по пространству смеси, тем менее интенсивна правая часть спектра.



**Рис. 2. Зависимости критерия однородности смеси (1) от доли пробы в общем объеме сыпучего материала**

В заключение следует отметить, что предлагаемая бесконтактная методика позволяет существенно снизить затратность и повысить эффективность операций определения и контроля качества смесей как на стадии разработки и исследования оборудования, так и при его эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.

2. Таршис М.Ю. Исследование качества сыпучей смеси. Моделирование. Критерии. Эксперимент. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2015. 120с.

## СЕКЦИЯ 2. «ИННОВАЦИИ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ. АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА»

УДК 502

### РОЛЬ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ИННОВАЦИОННОМ РАЗВИТИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ THE ROLE OF RENEWABLE ENERGY IN THE INNOVATIVE DEVELOPMENT OF RUSSIAN INDUSTRY

Павел Павлович Безруких  
Pavel P. Bezrukikh

*Российский союз научных и инженерных общественных объединений, Россия, Москва  
Russian union of scientific and engineering associations, Russia, Moscow  
(e-mail: bezruky@yandex.ru)*

*Аннотация:* В докладе приведены данные о состоянии возобновляемой энергетики мира, доли ВИЭ в конечном потреблении энергии и в производстве электрической энергии, темпах роста мощности отдельных видов ВИЭ, определены потенциальные заказы для промышленности России от ветроэнергетики, фотоэнергетики, геотермальной энергетики, солнечной тепловой энергетики, биоэнергетики.

*Abstract:* The report contains data on the state of renewable energy in the world, the share of RES in the final consumption of energy and in the production of electricity, the rate of growth in the capacity of certain types of RES, potential orders for the Russian industry from wind power, photovoltaics, geothermal energy, solar thermal energy, bioenergy.

*Ключевые слова:* возобновляемые источники энергии, ВЭ, ФЭС, БиоЭС, доля ВИЭ, темпы роста, потенциальные заказы.

*Keywords:* Renewable energy sources, RE, FES, BIOES, share of RES, growth rates, potential orders

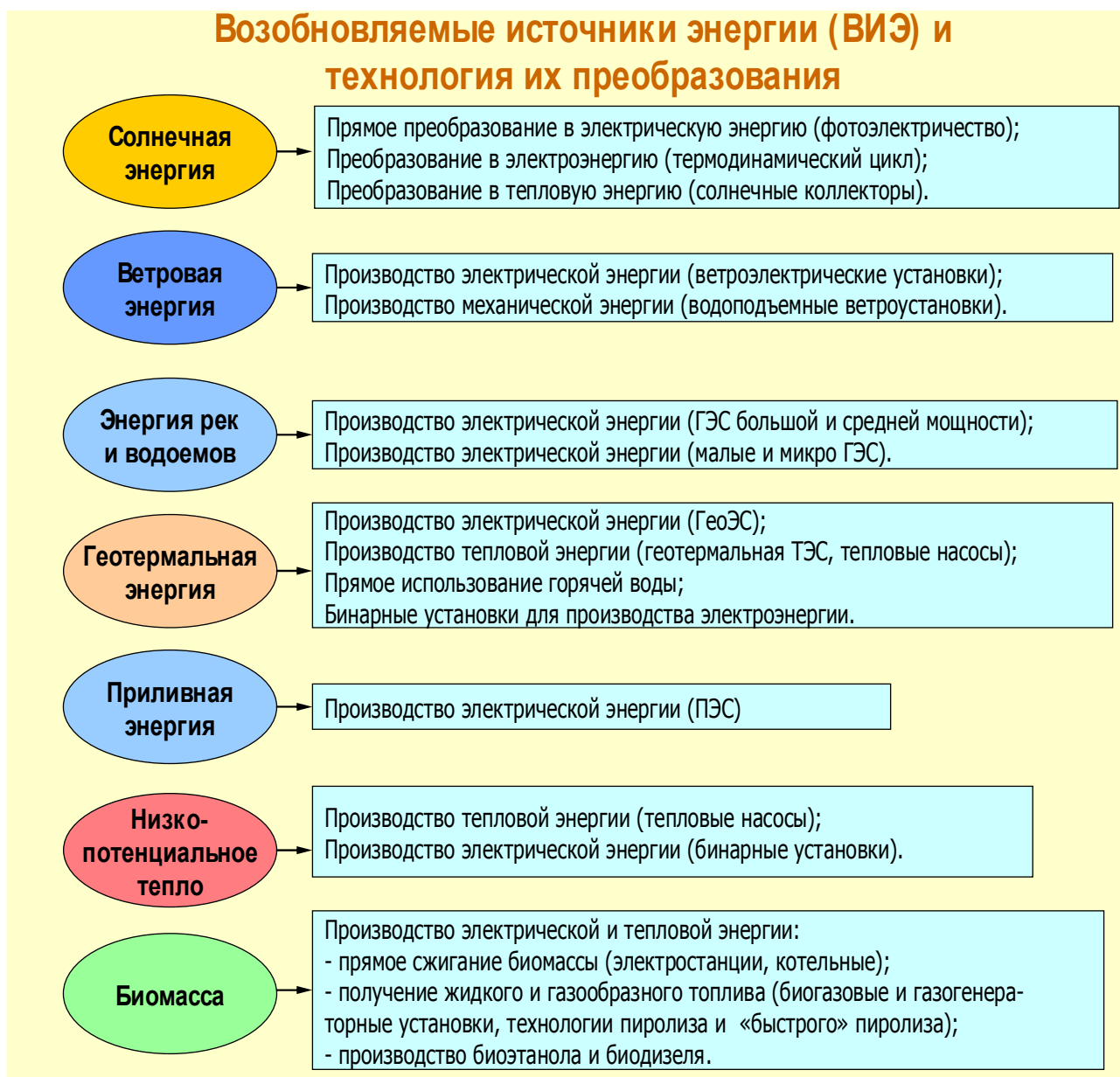
Связь между видами возобновляемой энергии и технологиями их преобразования в электрическую, тепловую и механическую энергию, а также топливо показана в таблице 1.

Согласно классическому определению [1], *возобновляемые источники энергии (ВИЭ)* – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии.

Типичный пример – солнечное излучение, повторяющееся в течение суток. Поскольку низкопотенциальное тепло и биомасса, являющиеся производными от других первичных источников энергии (солнечной и геотермальной), но также производными от растительного и животного мира и жизнедеятельностью человека, они выделяются в отдельные виды ВИЭ. Поэтому к приведенному выше определению ВИЭ предложено [2] добавить «*а также пожизненном цикле растительного и животного мира и жизнедеятельности человеческого общества*».

Как известно, человечество до новой эры и в первом тысячелетии использовало энергию Солнца, воды, и ветра, но «приход» в энергобаланс угля, нефти и газа на время вытеснил возобновляемые источники за исключением гидроэлектростанций (ГЭС). В настоящее время мы являемся свидетелями стремительного развития использования энергии солнца, ветра и биомассы. Как обстоят дела на современном этапе?

Таблица 1. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) и технологии их преобразования



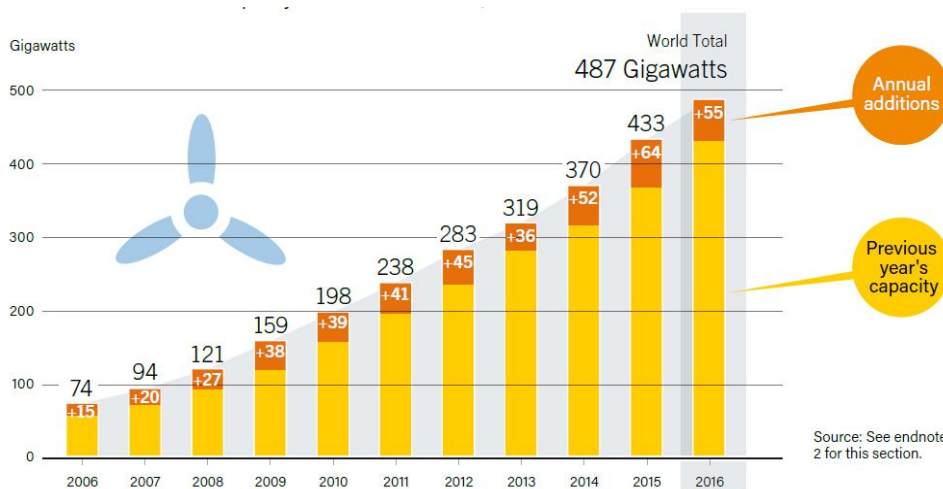
В таблице 2 представлены данные по динамике установленной мощности электростанций на базе ВИЭ за период 2004-2016 годы, а также среднегодовые темпы роста за весь период и за 2016 год по отношению к 2015 году.

Как видим, установленная мощность всех видов электростанций на базе ВИЭ (без ГЭС) увеличилась с 85 ГВт в 2004 году до 921 ГВт в 2016 году, т.е. в более, чем 10 раз при среднегодовом росте 22%. В 2016 году установленная мощность ветростанций (ВЭС), фотоэлектрических станций (ФЭС) и станций на биомассе составила, соответственно, 487 ГВт, 303 ГВт, 112 ГВт, т.е. 98 % от суммарной мощности электростанции на базе ВИЭ.

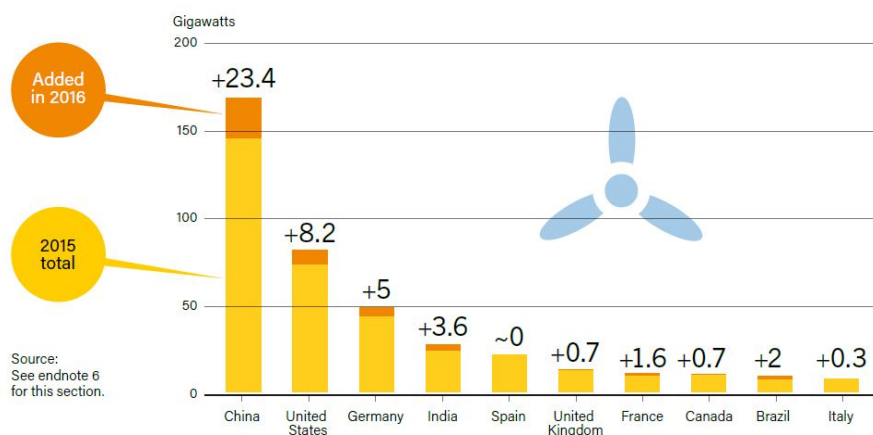
С высочайшими темпами растет мощность ФЭС, среднегодовой рост которой равен 48,7 %, рост за последний год составил 32,9%. Темп развития мощностей ВЭС несколько ниже, но также существенно превосходит темпы развития экономики: среднегодовой темп – 21,3%, за последний год – 12,5%. Более подробные данные по ветроэнергетике представлены на рис.1 и рис.2, а по фотоэнергетике на рис.3 и Рис.4.

**Таблица 2. Динамика показателей возобновляемой энергетики мира за период 2004-2016 гг.**

Показатель	Значение показателя по годам			Среднегодовой % роста за 2004-2016/ 2004-2015	Увеличение в 2016 к 2015/ 2015 к 2014
	2004	2015	2016		
Новые годовые инвестиции, млрд. дол. США	45	285,9	241,6	15,0/19,62	-22,3/14,3
Мощность на базе ВИЭ (без ГЭС), ГВт	85	785	921	22,0/22,5	17,3/18,0
Мощность на базе ВИЭ (с ГЭС), ГВт	800	1849	2017	8,0/7,9	8,7/9,1
Мощность гидроэлектростанций (ГЭС), ГВт	715	1064	1096	3,6/3,7	2,3/3,4
Мощность на базе биомассы, ГВт	<36	106	112	9,9/10,3	5,7/4,95
Производство электроэнергии на базе биомассы, ТВт·ч	227	464	504	6,9/6,7	8,6/8,2
Мощность геотермальных электростанций, ГВт	8,9	13,2	13,5	3,5/3,5	3,8/0,7
Мощность фотоэлектрических электростанций, ГВт	2,6	227	303	48,7/50,2	32,9/28,8
Мощность солнечных термодинамических электростанций, ГВт	0,4	4,8	4,8	23,0/25,1	2,1/9,3
Мощность ветростанций, ГВт	48	433	487	21,3/22,1	12,5/17,0
Мощность солнечных водонагревательных систем, ГВт (тепл.)	86	435	456	14,9/15,9	4,8/6,4
Годовое производство этанола, млрд. литров	28,5	98,3	98,6	10,9/11,9	0,3/4,0
Годовое производство биодизеля, млрд. литров	2,4	30,1	30,8	23,7/24,8	2,3/-1,0
Количество стран, с установленными целями по ВИЭ	48	173	176	11,5/12,5	1,7/5,5

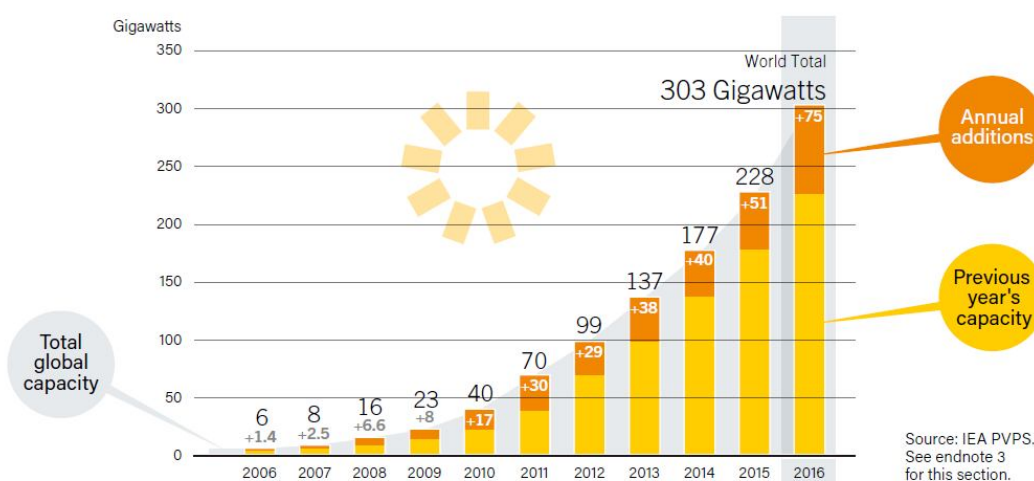


**Рис.1 Динамика установленной мощности ВЭС и годового ввода мощности за период 2006-2016 г. [3].**



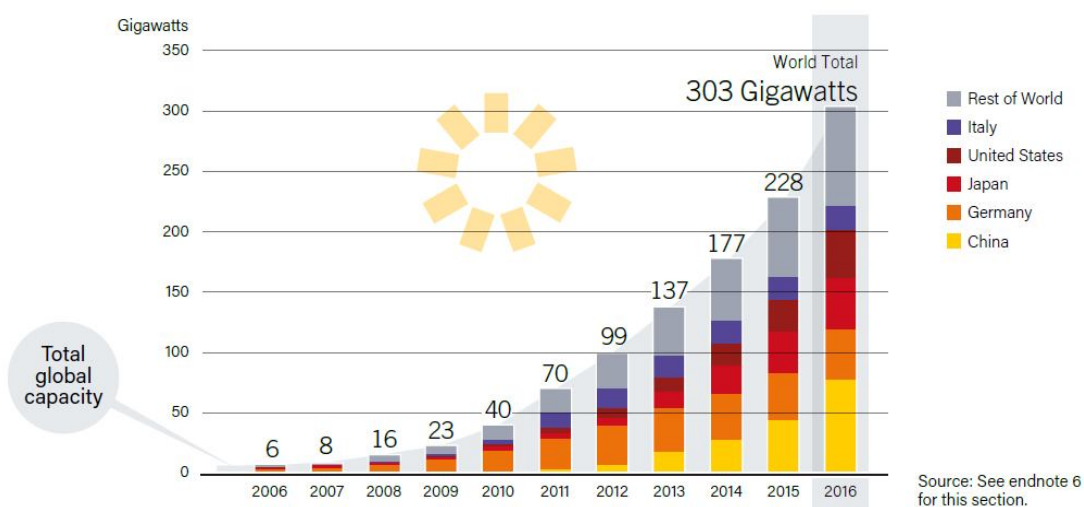
Note: Germany's additions are net of decommissioning and repowering. "~0" denotes capacity additions of less than 50 MW.

**Рис.2 Установленная мощность и годовой ввод мощности ВЭС в 10 ведущих странах в 2016 г. [3].**



Source: IEA PVPS. See endnote 3 for this section.

**Рис.3 Динамика установленной мощности ФЭС и годового ввода мощности за период 2006-2016 г. [3].**



Source: See endnote 6 for this section.

**Рис.4 Динамика установленной мощности ФЭС в 5 ведущих странах в 2006-2016 г. [3].**

Много это или мало определяется долей возобновляемых источников энергии в энергобалансе конечного потребления (рис.5) и долей в общем производстве электроэнергии (рис.6).

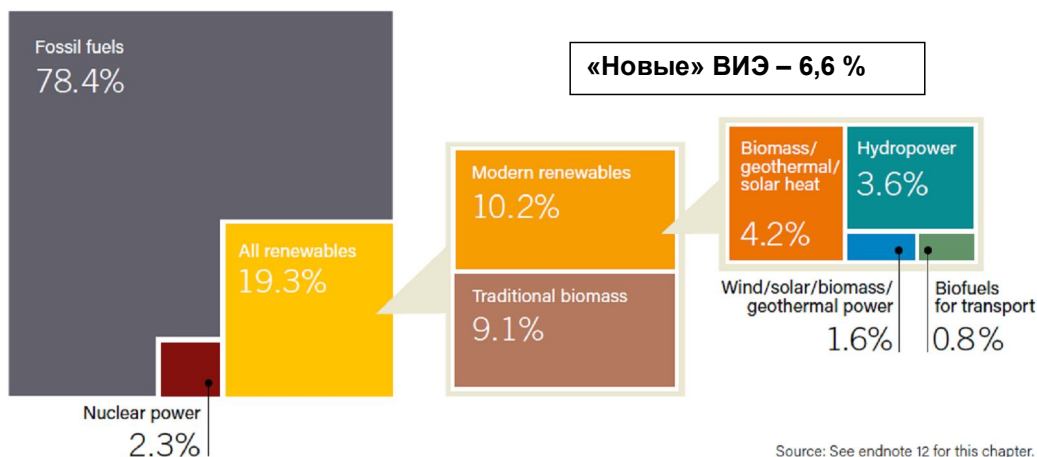


Рис. 5 Оценка доли ВИЭ в конечном потреблении энергии в мире в 2015 г.

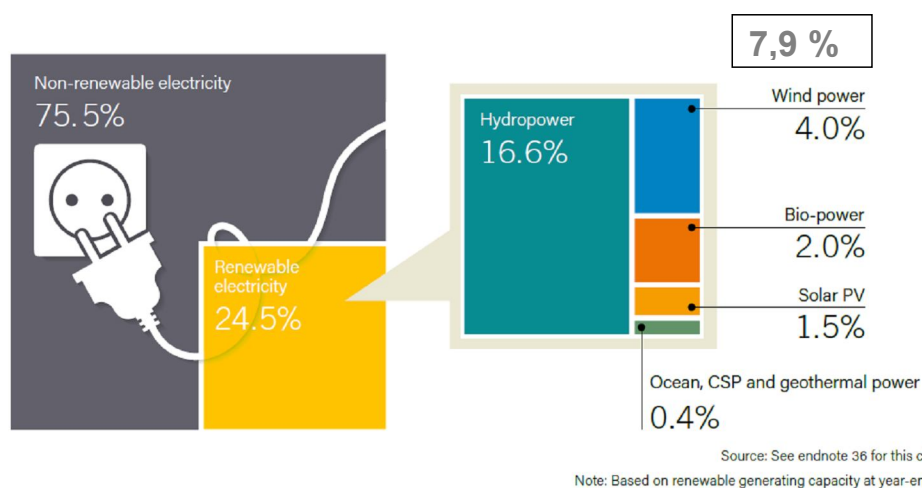


Рис. 6 Оценка доли ВИЭ в общем производстве электроэнергии, на конец 2016 г.

Итак, в конечном потреблении в 2015 году невозобновляемое топливо составило 78,4 %, атомные электростанции – 2,3%. При этом все возобновляемые источники – 19,3%, в том числе современные установки – 10,2 % (по производству тепла – 4,2%, электроэнергии – 1,6%, топлива – 0,8 %, гидроэлектростанции – 3,6%); традиционная биомасса (в основном дрова и горючие отходы) – 9,1%. Отметим, что доля современных установок, на базе ВИЭ по производству тепла, электроэнергии и топлива составила 6,6 %, что почти в 3 раза превосходит долю АЭС.

В производстве электроэнергии наблюдается иная картина: доля невозобновляемых источников, включая АЭС, составила 75,5 %, возобновляемых – 24,5 %, в том числе ГЭС – 16,6 %, современные ВИЭ (ветер, солнце, био, геотермальная энергия и пр.) – 7,9 %. В [3] не указана доля АЭС. По другим источникам информации известно, что доля АЭС в мировом производстве электроэнергии составляет порядка 18 %.

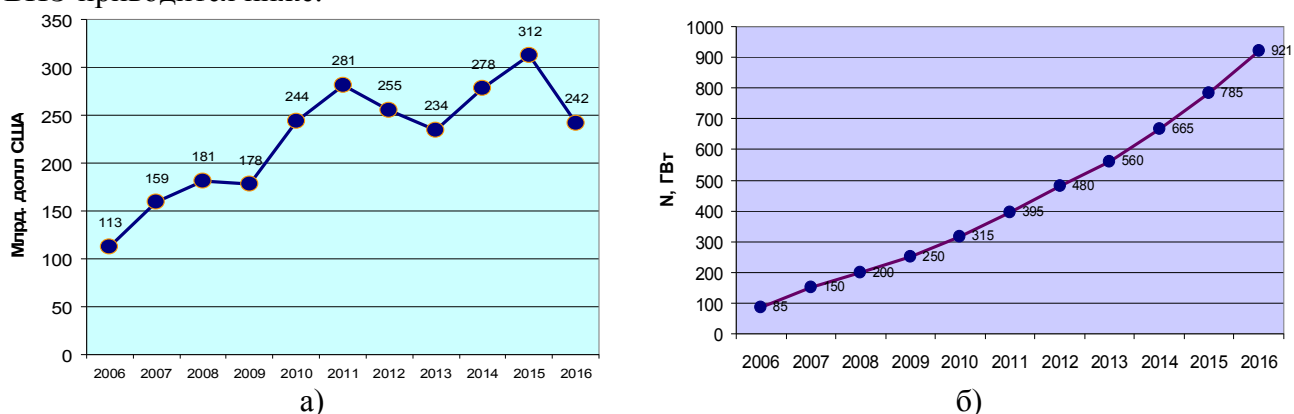
Учитывая темпы роста мощности ФЭС и ВЭС можно ожидать, что к 2025 году доля «современных» ВИЭ в производстве электроэнергии сравняется с долей ГЭС.

На рис.7 представлена динамика годовых инвестиций в возобновляемую энергетику и динамика установленной мощности на базе ВИЭ. Как видим, в 2016 году инвестиции резко сократились, а годовой рост мощности оказался самым большим и составил 136 ГВт. Этот на первый взгляд парадоксальный результат объясняется по крайней мере двумя фактами:

а) в 2016 году «сработали» инвестиции, вложенные в прошедшие годы;

б) существенным снижением удельной стоимости оборудования в основном ФЭС, но и ВЭС.

Состояние производства оборудования для возобновляемой энергетики в России, за исключением фотоэлектричества, характеризуется изготовлением отдельных опытно-промышленных образцов. Отсутствие заказов не позволяет организовать промышленное производство. По производству фотоэлектрических модулей построены соответствующие предприятия, которые начали выпуск продукции. По остальным видам оборудования можно говорить лишь о потенциальных заказах. Расшифровка потенциальных заказов по видам ВИЭ приводится ниже.



**Рис. 7** Динамика годовых инвестиций в ВИЭ (а) и установленной мощности на базе ВИЭ (без ГЭС) (б) за период 2006-2016.

#### Потенциальные заказы ветроэнергетики для промышленности

- Стальные башни диаметром до 10 м., длина секции – 20 м.
- Лопasti стеклопластиковые длиной до 80 м, вес 10-30 тонн.
- Редукторы, зубчатые передачи, валы, механизмы поворота кабины.
- Генераторы асинхронные асинхронизированные, синхронные многополюсные, с постоянными магнитами мощностью от 100 кВт до 10 МВт.
- Выпрямители, инверторы, преобразователи частоты единичной мощностью от 1 МВт до 10 МВт.
- Сухие трансформаторы, силовые и контрольные кабели с пластиковой изоляцией, коммутационные аппараты новейшей конструкции.
- Системы защиты, сигнализации и автоматики, обеспечивающие запись и запоминание метеорологических, механических, электрических параметров и передачу данных по спутниковой связи, обеспечивающие 100 % автоматизацию.

#### Потенциальные заказы фотоэнергетики для промышленности

- Организация производства металлургического кремния.
- Организация производства кремния солнечного качества.
- Организация производства пластин, фотоэлементов, модулей
- Освоение тонкопленочных технологий.
- Производство трансформаторов, силовых и контрольных кабелей, коммутационной аппаратуры.
- Производство инверторов автономных и ведомых сетью, мощностью до 500 кВт.
- Освоение производства систем защиты, автоматики, хранения и передачи данных по спутниковой связи, обеспечивающих 100 % автоматизацию.

### **Потенциальные заказы от биоэнергетики**

- Котлы масляные и использующие в качестве топлива все виды отходов мощность от 0,1 до 1 МВт.
- Теплообменники масло-вода, масло-фреон.
- Парогенераторы мощностью от 10 до 100 кВт.
- Биореакторы (метантенки).
- Камеры сгорания на биогазе и генераторном газе и турбины мощностью от 100 до 500 кВт.
- Насосы различного назначения.
- Установки по производству биодизеля и биотоплива.
- Котельные агрегаты (парогенераторы) мегаваттного класса, работающие на отходах целлюлозно-бумажной промышленности.

### **Потенциальные заказы геотермальной энергетики для промышленности**

- Производство бурильных установок; насосов геотермального теплоносителя и насосов закачки сепарата в пласт; с повышенной стойкостью к коррозии.
- Организация производства турбин с повышенной стойкостью к коррозии.
- Организация производства сепараторов и воздушных конденсаторов.
- Разработка систем автоматики и дистанционного управления с использованием спутниковой связи.
- Разработка парогенераторов на парах фреона мощностью от 0,5 до 5 МВт.

### **Потенциальные заказы солнечной тепловой энергетики для промышленности**

- Организация массового производства солнечных коллекторов для различных метеорологических условий регионов России.
- Организация производства светопрозрачных покрытий, светопоглощающих веществ, теплоизоляционных материалов, насосов и систем автоматики.

### **Выводы и предложения**

Для реализации возможностей возобновляемой энергетики в модернизации промышленности России необходимо:

- принять план сооружения и обеспечить государственное финансирование пилотных и демонстрационных проектов;
- обеспечить государственную поддержку патентованию российских инновационных разработок в США, ЕС и Китае, с целью воспрепятствования нелегального воспроизводства за рубежом;
- упростить доступ малого и среднего бизнеса к получению государственной поддержки в сооружении объектов возобновляемой энергетики;
- возобновляемая энергетика один из основных реальных путей модернизации промышленности России.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Твайдел Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат. 1990. – 392с.:ил.
2. Безруких П. Возобновляемая энергетика: сегодня реальность, завтра – необходимость. – М.: Лесная страна. 2007. – 120с.
3. REN21. 2017. Renewables 2017 Global Status Report.



УДК 621.383

**СОВРЕМЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ  
ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ  
CONTEMPORARY ECOLOGICAL ASPECTS IN RENEWABLE ENERGY  
DEVELOPMENT**

**Михаил Юрьевич Берёзкин, Олег Анатольевич Синюгин  
Mikhail Yu. Berezkin, Oleg A. Sinyugin**

*Московский Государственный Университет имени М. В. Ломоносова, географический  
факультет, Россия, Москва  
M. V. Lomonosov Moscow State University, faculty of geography, Russia, Moscow  
(e-mail: mberezkin@inbox.ru)*

*Аннотация:* В статье рассматриваются современные тенденции развития возобновляемой энергетики. Главным мировым событием стало Парижское соглашение в 2015 г., в котором излагается план развития возобновляемого сектора в более чем 190 странах мира.

*Abstract:* The article discusses modern trends in renewable energy development. They are attributed to the climate change problem. Major global event here was ‘Paris accord – 2015’ which outlines the roadmap for renewable sector in more than 190 countries all over the world.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, Парижское соглашение.

*Keywords:* renewable energy, Paris accord.

### **Введение**

Основной причиной среднегодового роста температуры является антропогенные выбросы парниковых газов, прежде всего – CO<sub>2</sub>, а основным сектором – энергетика. Концентрация CO<sub>2</sub> повторяет график выбросов от сжигания ископаемых топлив. Она увеличилась на 35% по CO<sub>2</sub>, и на 145% по CH<sub>4</sub> с 1850 г. В настоящее время ООН ставит цель не превысить среднегодовую температуру на Земле более чем на 2°C при концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере не более 550 частей CO<sub>2</sub> на миллион по объему.

Мировая практика внедрения возобновляемых источников энергии предлагает готовые способы декарбонизации глобального энергетического баланса. Удвоение доли возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе до 2030 г. может внести до 50% требуемых сокращений выбросов парниковых газов. Вместе с повышением энергоэффективности развитие возобновляемой энергетики позволит удержать рост средней глобальной температуры в пределах 2°C до 2100 г. и предотвратить катастрофическое изменение климата.

В декабре 1997 г. на международном саммите под эгидой ООН в Киото был принят и подписан 159 странами Протокол к Конвенции ООН по глобальным изменениям климата – Киотский протокол 1997-2012 гг. Он включал в себя три направления действий:

1. Сбор физических данных, мониторинг.
2. Снижение антропогенного воздействия.
3. Адаптация к изменениям климата.

По сравнению с 1990 г. страны Европейского Союза (ЕС) должны были сократить выбросы на 8%, Япония и Канада – на 6% к 2008-2012 гг., Россия могла сохранить среднегодовые выбросы на уровне 1990 г. Развивающиеся страны не брали обязательств.

В реализации Киотского протокола основная роль отводилась возобновляемой энергетике. Энергетика (включая использование энергии на транспорте) дает около 80% выбросов парниковых газов. И именно в этом секторе сосредоточен основной потенциал по сокращению их выбросов. Задача стоит в кардинальном изменении структуры современной энергетики в низкоуглеродном направлении, в уходе от принципа «палео-топлива – палео-

климат». Большая часть проектов в рамках Киотского протокола заключалась во вводе новых мощностей возобновляемой энергетики. При этом Киотский протокол создал дополнительный канал инвестиций в возобновляемую энергетику, измеряемый десятками миллиардов долларов.

В рамках Протокола Киото действовало два механизма снижения выбросов. Механизм чистого развития (МЧР) был предназначен для проектов, реализуемых в развивающихся странах, которые не имеют количественных обязательств по ограничению и сокращению выбросов парниковых газов (это Индия, Китай, Бразилия и т.д.). Механизм, получивший название «совместное осуществление» (СО), стал реализовываться в странах, имеющих обязательства по выбросам парниковых газов – это развитые страны ЕС, Россия, Украина, Австралия, Япония, Швейцария и др.

Присоединение России и ратификация позволила Киотскому Протоколу вступить в юридическую силу в 2005 г. (для этого требовалось, чтобы страны участницы совокупно имели долю выбросов, превышающую 55% от общемировых). Следует отметить, что с этого года по 2012 г. в России не были реализованы проекты по механизмам протокола из-за инерции процедур и задержек в рассмотрении заявок. Соответственно, не были достигнуты положительные финансовые результаты.

В Европе по данным статистического агентства Eurostat в 2010 г. достигнуто 15% снижение выбросов парниковых газов к уровню 1990 г. В инерциальном сценарии в ЕС к 2020 г. совокупный объем выбросов должен снизиться на 20% к уровню 1990 г.

#### **Парижские соглашения 2015 г.**

После трехлетней паузы в конце 2015 г. в пригороде Парижа было достигнуто новое всеобъемлющее соглашение по выбросам парниковых газов. Принята цель удержания роста средней глобальной температуры в пределах 2°C до 2100 г., позволяющая предотвратить катастрофическое изменение климата.

Все страны участницы (196 стран) представили свои предложения по снижению выбросов парниковых газов. Суммарные предложения стран позволяют удержать повышение температуры в пределах +2,7°C до 2100 г. Это выше согласованной цели +2°C, что означает принятие более жестких обязательств впоследствии.

Инициатор Киотского Протокола Европейский Союз, блок 28 стран, принимает обязательство снизить выбросы парниковых газов на 40% к 2030 г. по сравнению с 1990 г. со среднегодовым темпом сокращения порядка -1%/г. Это немного выше уже достигнутых темпов -0,75%/г. во время действия предыдущих договоренностей, но совсем не приемлемо для лидера процесса.

Китай является бесспорным лидером по выбросам CO<sub>2</sub>, его доля составляла 22,4% из 36 млрд. тонн CO<sub>2</sub> в мире в 2015 г. Китай взял обязательство достичь пика выбросов к 2030 г., и попытаться сделать это ранее. А также снизить интенсивность выбросов CO<sub>2</sub> на \$1 на 60-65% к 2030 г. по сравнению с 2005 г. И повысить долю возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и ядерной энергетики до 20% в национальном энергобалансе.

США – исторический лидер по сумме выбросов за многие годы – занимает второе место по выбросам CO<sub>2</sub> с долей 12,4% от мировых. Они обязуются сократить выбросы на 26-28% к 2025 г. по сравнению с 2005 г. – это среднегодовой темп сокращения -1,3-1,4%/г.

В Индии поставлена цель снижения интенсивности выбросов CO<sub>2</sub> на 33-35% к 2030 г. по сравнению с 2005 г., среднегодовой темп – 1,4%/г. Третий глобальный загрязнитель (6,8% от общемировых выбросов) доведет до 40% к 2030 г. долю электростанций не на ископаемом топливе.

Бразилия планирует снижение выбросов на 37% с 2005 до 2025 г. (-43% к 2030 г.) – это наиболее амбициозно заявленный темп снижения порядка – 1,7-1,9%/г. Необходимо также искоренить незаконное сведение лесов к 2030 г.

Япония обещает 26% снижение выбросов парниковых газов к 2030 г. с 2013 г., при среднегодовом темпе -1,5%/г. Доля генерации электричества на ВИЭ повысится до 22-24% к 2030 г. и доля ядерной энергии – до 20-22%.

Россия перевыполнила свои обязательства по Киотскому протоколу: с 1991 по 2012 г. объем выбросов парниковых газов на российской территории значительно снижен. Благодаря этому в атмосферу не попало около 40 млрд. т эквивалента углекислого газа, что превышает ежегодный глобальный выброс CO<sub>2</sub>.

На конференции в Париже были озвучены темпы снижения энергоемкости экономики России – 33,4% за период с 2000 по 2012 г. (-2,8% в год) и анонсировано возможное сокращение в России к 2020 г. энергоемкости экономики на 13,5% с уровня 2015 г. (-2,7% в год).

К 2030 г. Россия планирует уменьшить выбросы парниковых газов до 70% от уровня 1990 г. (т.е. 30% за 40 лет со среднегодовым темпом 0,75% – один из самых низких уровней заявленного снижения выбросов).

Россия инвестирует в развитие генерации на безуглеродных источниках энергии. По плану Министерства энергетики Российской Федерации к 2020 г. мощность генерации на основе ВИЭ в России должна составить 6 ГВт и вырасти в три раза, что потребует 516 млрд. руб. инвестиций. Также согласно стратегии развития электроэнергетики, к 2020 г. доля производства электроэнергии на АЭС должна увеличиться с 16% до 19%.

Несложные расчеты с учетом коэффициентов использования установленной мощности показывают, что за счет внедрения ВИЭ Россия может заместить до 3% генерации электроэнергии на ископаемых топливах до 2030 г. и таким образом снизить на 3% выбросы от их сжигания (из заявленного -30% снижения). Аналогично, развитие ядерной энергетики может дать еще 3% снижения выбросов CO<sub>2</sub>. Остальные -24% снижения необходимо будет достигать за счет повышения энергоэффективности – что соответствует глобальному тренду.

Наглядный пример: энергоинтенсивность мировой экономики снизилась на 2.3% в 2014 г. в результате мер по энергоэффективности и структурных изменений, такой темп в 2 раза выше среднего в 2000-е гг. При этом был достигнут рост мировой экономики на 3,4% (2014 г.), и 0% прирост выбросов CO<sub>2</sub> в энергетике – впервые за 40 лет с нефтяного кризиса 1970-х гг. То есть наблюдаются признаки ослабления связи роста глобальной экономики с ростом выбросов парниковых газов в энергетическом секторе.

России необходимо также предусмотреть меры по участию в торговле выбросами парниковых газов и не повторять ошибки периода Киотского протокола. Оборот мирового углеродного рынка составляет десятки млрд. долл. США. Около 11% глобальных выбросов CO<sub>2</sub> приходится на страны с действующим рынком квот на выбросы CO<sub>2</sub>. Наибольшая доля рынка (примерно 75%) приходится на страны Евросоюза, где реализована так называемая «Европейская схема торговли выбросами парниковых газов». В рамках схемы крупным компаниям-эмитентам устанавливаются определенные квоты (разрешения) на их выбросы и предоставляется право торговать ими без ограничения. К сожалению пока средняя цена на рынке держится на низком уровне – 7 долл. США за тонну выбросов CO<sub>2</sub> – что не отменяет необходимости участия в этом международном процессе.

### **Выводы**

- Мировая практика внедрения возобновляемых источников энергии предлагает готовые способы декарбонизации глобального энергетического баланса.
- Удвоение доли возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе до 2030 г. может внести до 50% требуемых сокращений выбросов парниковых газов.
- Вместе с повышением энергоэффективности развитие возобновляемой энергетики позволит удержать рост средней глобальной температуры в пределах 2°C до 2100 г. и предотвратить катастрофическое изменение климата.
- Российский план участия в Парижских договоренностях 2015 г. на 80% основан на мерах по повышению энергоэффективности в национальной экономике, которые дополняются внедрением ВИЭ и развитием ядерной энергетики.
- В настоящее время наблюдаются признаки ослабления связи роста глобальной экономики с ростом выбросов парниковых газов в энергетическом секторе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мировая энергетика – 2050 / Под ред. Бушуева В.В. и Калманова В.А. М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2011. 360 с.
2. Framework Convention on Climate Change. COP 21. UNFCCC. Paris. 2015.
3. World Energy Outlook 2016. International Energy Agency. 2016. Paris.
4. World Energy Assessment 2000, 2004. UN DESA. New York.  
Bloomberg New Energy Finance 2016. BNEF. NY. www.bloomberg.com/bnef

УДК 621.039

## ГЛОБАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И ПРОРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ THE GLOBAL TENDENCIES OF TECHNOLOGICAL PROBLEMS AND ADVANCED THE REAL GLOBAL PROBLEM IN NUCLEAR POWER

**Борис Евгеньевич Большаков\***, **Владимир Степанович Бутцев\*\***,  
**Борис Владимирович Гусев\*\*\***  
**Boris E. Bolshakov\***, **Vladimir S. Buttsev\*\***, **Boris V. Gusev\*\*\***

*\*Государственный университет <Дубна>, Россия, Дубна,*

*\*State University <Dubna>, Russia, Dubna*

*\*\*Объединенный институт ядерных исследований, Россия, Дубна*

*\*\*Joint Institute for Nuclear Research, Russia, Dubna,*

*\*\*\*Российская Инженерная Академия, Россия, Москва*

*\*\*\*Russian Academies of Engineering, Russia, Moscow*

*(e-mail: bb@uni-dubna.ru; butsev@jinr.ru; info-rae@mail.ru)*

*Аннотация:* В работе рассматриваются динамика мировых технологических гипертрендов и реальные прорывные технологии, в том числе решается глобальная задача в качестве топлива на АЭС вместо  $^{235}\text{U}$  использовать  $^{238}\text{U}$  в реакции облучения быстрыми нейтронами для получения  $^{239}\text{Pu}$ . Тогда АЭС будут работать в качестве размножителя, когда нового топлива оказывается больше, чем загруженного изначально. Этот научный прогресс способен обеспечить страну доступной дешевой электроэнергией на несколько лет вперед при дефиците  $^{235}\text{U}$  и падении цен на нефть.

*Abstract:* The real high technologies are considered including the solving of the global problem of using U-238 in the irradiation reaction by fast neutrons for producing Pu-239 as a fuel for APS and mini-APS. In this case, the nuclear power plants will work as a multiplier when new fuel is more than it was loaded initially. Such a scientific progress is capable of providing the country with available and cheap electric power for several years ahead at a U-235 deficiency and falling the oil prices.

*Ключевые слова:* устойчивое развитие, динамика технологических трендов, прорывные технологии, мини АЭС, топливо для АЭС,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ .

*Keywords:* The Global Tendencies of technological, sustainable development, Atomic Power Station, mini-versions, as a fuel for APS,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ .

Обобщение опыта научно-технологической мысли дало возможность великим представителям русской научной школы и, прежде всего, С.А. Подолинскому, В.И. Вернадскому, К.Э. Циолковскому, Р.О. Бартини, П.Г. Кузнецову, А.Н. Косыгину сформулировать правило – закон технологического развития, связавший развитие живого на Земле с хроноцелостным процессом неубывающих темпов роста полезной мощности и который активно проявляется в современном мире в глобальных тенденциях формирования прорывных технологий.

На обычном языке этот закон определяется так: имеет место технологическое развитие, если сохраняется устойчивая тенденция неубывающих темпов роста полезной мощности системы.

Новая технология приходит на смену старой, если она более экономично обеспечивает выполнение заданной функции. «Более экономично» – значит с меньшими потерями мощности и с меньшим риском для устойчивого инновационного развития.

Выделяют три класса технологий устойчивого инновационного развития :[ 1,2 ]

Первый класс – это технологии замещения источников мощности более эффективными.

Второй класс – это опережающие технологии повышения эффективности полной мощности не только для ближайшего времени, но и на длительную перспективу.

Третий класс – это прорывные технологии управления, обеспечивающие индивидуальную и общественную потребность (спрос) в новых технологиях указанных классов.

#### **Что такое прорывные технологии?**

Прорывная технология – это такая технология, которая обеспечивает повышение безопасности, качества жизни, конкурентоспособности и переход страны в группу мировых лидеров по определенному продукту (услуге), удовлетворяющему следующим критериям:

востребован каждым человеком;

доступен каждому человеку; имеет КСТ не менее 0,62;

никто в мире не производит или производит с КСТ меньше 0,62.

Результаты анализа, полученные на основе компьютерного моделирования устойчивости развития России, показали, что обобщенный КСТ технологий, существующих в настоящее время в России, составляет 0,30-0,32, а для достижения численных значений установочных параметров промышленности устойчивого инновационного развития обобщенный КСТ должен быть не менее 0,62. Заимствование позитивного зарубежного опыта (США, Швеция, Япония, Китай и др.) обеспечивает прирост качества жизни в стране на два-четыре процента, а необходимо большее – из-за издержек климата, в среднем в два раза превышающих издержки любой другой страны. В Европе и отчасти в США рост обеспечивается идеологией, получившей название «фактор четыре»: качество жизни растет за счет технологий, вдвое уменьшающих затраты и дающих двойной эффект. Средний КСТ по стране на 2000 год – 0,30. Для того чтобы выйти на устойчивое инновационное развитие, требуется выше 0,62; а наиболее «продвинутые» мировые технологии дают КСТ не более 0,6.

Существует много разных технологических индикаторов, необходимых для выявления новых тенденций мирового технологического развития. Мы исходим из того, что любая технология – это, прежде всего, открытая для потоков энергии система, которая обеспечивает с определенной эффективностью процесс преобразования потоков энергии на входе в потоки энергии (вещества и информации) на выходе системы, обладающие полезными потребительскими свойствами.

Потоки энергии на входе и выходе системы находятся под контролем фундаментального закона сохранения мощности, общего закона природы справедливого для открытых по потокам энергии систем.

Выделяются четыре группы базовых индикаторов, необходимых для оценки технологического развития. В их числе:

полная мощность или потребление мощность (N);

полезная мощность или производство мощности (P);

потери мощности или мощность потерь (G);

обобщенный коэффициент совершенства технологий (КСТ).

Выявление и оценка новых тенденций осуществляется с использованием расчетов базовых индикаторов, а также классификатора типов тенденций технологического развития.

Классификатор типов тенденций технологического развития строится на основе базовых индикаторов и включает в себя все практически значимые и логически возможные типы тенденций технологического развития.

Суть классификатора в том, что все возможные технологические тенденции делятся на три связанных между собой активных зоны:

- А Зона развития технологической системы;
- Б Зона стагнации технологической системы;
- В Зона деградации технологической системы.

Выполненные расчеты базовых индикаторов мирового технологического развития и оценка сложившихся мегатрендов дали возможность произвести оценку рейтингов 60 стран мира по базовому индикатору КСТ и интегральному индикатору качества жизни в единицах мощности. Оценки представлены в таблицах 1 и 2.

Анализ построенных рейтингов показывает связь типа тенденции технологического развития, изменения мегатрендов КСТ и качества жизни в странах мира: чем больше КСТ, тем выше качество жизни в странах мира. Табл 1.

**Таблица 1. Рейтинг стран по обобщенному коэффициенту совершенства технологий (КСТ, безразмерные единицы) на 2000, 2010 и 2020 гг.**

Место	Страна	Значение КСТ (2000)	Место	Страна	Значение КСТ (2010)	Место	Страна	Значение КСТ (2020)
1	Норвегия	0,38	1	Норвегия	0,38	1	Норвегия	0,37
2	Швеция	0,34	2	Швеция	0,34	2	Финляндия	0,36
3	Финляндия	0,33	3	Финляндия	0,33	3	Швеция	0,34
4	Канада	0,32	3	Новая Зеландия	0,33	3	Израиль	0,34
4	Швейцария	0,32	3	Швейцария	0,33	3	Австралия	0,34
4	Израиль	0,32	4	Израиль	0,32	4	Канада	0,32
4	Япония	0,32	4	Гонг Конг	0,32	5	ЮАР	0,31
4	Австрия	0,32	4	Австралия	0,32	5	Бельгия	0,31
5	США	0,31	4	Япония	0,32	5	Германия	0,31
5	Франция	0,31	4	Австрия	0,32	5	Франция	0,31
5	ЮАР	0,31	5	США	0,31	5	США	0,31
5	Италия	0,31	5	Франция	0,31	5	Италия	0,31
6	Испания	0,30	5	Италия	0,31	5	ЮАР	0,31
6	Германия	0,30	5	Испания	0,31	5	Египет	0,31
6	Великобритания	0,30	5	ЮАР	0,31	5	Австрия	0,31
6	Португалия	0,30	5	Португалия	0,31	5	Япония	0,31
6	Бельгия	0,30	5	Германия	0,31	6	Испания	0,30
6	Нидерланды	0,30	6	Великобритания	0,30	6	Великобритания	0,30
6	Сингапур	0,30	6	Болгария	0,30	6	Нидерланды	0,30
6	Бразилия	0,30	6	Сингапур	0,30	7	Узбекистан	0,29
7	Корея	0,29	6	Эстония	0,30	7	Польша	0,29
7	Россия	0,29	6	Азербайджан	0,30	...	...	...
...	...	...	6	Нидерланды	0,30	10	Филиппины	0,26
9	Иран	0,27	6	Венгрия	0,30	10	КНДР	0,26
9	Колумбия	0,27	8	Узбекистан	0,28	10	Иран	0,26
9	Китай	0,27	8	Иран	0,28	10	Сингапур	0,26
9	КНДР	0,27	9	КНДР	0,27	11	Туркменистан	0,25
10	Туркменистан	0,26	9	Туркменистан	0,27	11	Пакистан	0,25
12	Вьетнам	0,24	11	Пакистан	0,25	12	Афганистан	0,11
13	Афганистан	0,12	12	Афганистан	0,12	...	...	...

**Таблица 2. Рейтинг стран по качеству жизни в единицах мощности (кВт/человека) на 2000, 2010 и 2020гг.**

Место	Страна	Качество жизни, кВт/чел. (2000)	Место	Страна	Качество жизни, кВт/чел. (2010)	Место	Страна	Качество жизни, кВт/чел. (2020)
1	Канада	3,44	1	Канада	3,63	1	Норвегия	3,91
2	Норвегия	3,39	2	Норвегия	3,43	2	Финляндия	3,68
3	США	3,12	3	Финляндия	3,28	3	Канада	3,49
4	Финляндия	2,93	4	США	3,15	4	Швеция	3,16
5	Швеция	2,86	5	Швеция	2,79	5	США	3,12
6	Австралия	2,33	6	Австралия	2,48	6	Австралия	2,71
7	Сингапур	2,16	7	Сингапур	2,05	7	Сингапур	2,41
8	Новая Зеландия	1,90	8	Нидерланды	1,93	8	Нидерланды	2,13
9	Нидерланды	1,81	9	Новая Зеландия	1,93	9	Корея	2,00
10	Франция	1,79	10	Франция	1,89	10	Новая Зеландия	1,97
11	Япония	1,77	11	Саудовская Аравия	1,85	11	Австрия	1,90
12	Германия	1,69	12	Япония	1,80	12	Саудовская Аравия	1,87
13	Саудовская Аравия	1,66	13	Корея	1,75	13	Франция	1,87
14	Швейцария	1,65	14	Австрия	1,73	14	Швейцария	1,83
15	Великобритания	1,55	15	Германия	1,72	15	Япония	1,82
16	Австрия	1,54	16	Швейцария	1,68	16	Чехия	1,79
17	Чехия	1,50	17	Чехия	1,64	17	Германия	1,77
18	Израиль	1,30	18	Великобритания	1,57	18	Эстония	1,60
19	Корея	1,27	19	Россия	1,39	19	Великобритания	1,56
20	Эстония	1,25	20	Израиль	1,38	20	Испания	1,45
21	Россия	1,24	21	Испания	1,37	21	Россия	1,43
22	Италия	1,23	22	Эстония	1,33	22	Израиль	1,34
23	Испания	1,16	23	Италия	1,32	23	Гонг Конг	1,33
24	Гонг Конг	1,13	24	Гонг Конг	1,16	24	Италия	1,30
25	Греция	1,00	25	Греция	1,15	25	Греция	1,24
26	Болгария	0,91	26	Португалия	1,02	26	Португалия	1,13
27	Литва	0,91	27			27	Болгария	1,08
28	Португалия	0,90	28	Болгария	0,95			
29	Польша	0,89	29	Венгрия	0,95	29	Венгрия	1,07
30	Венгрия	0,86	30	Туркменистан	0,94	30	Польша	1,03
			31	Польша	0,89	31	Литва	1,01
32	Венесуэла	0,83	32	Литва	0,89	32	Беларусь	0,98
33	Беларусь	0,81	33	Беларусь	0,85	33	Туркменистан	0,83

Максимальное КСТ и качество жизни имеют страны, для которых доминирующим является мегатренд, именуемый как «устойчивое инновационное развитие». В число таких стран входит Норвегия, которая на протяжении последних 10 лет занимает первое место в рейтинге по качеству жизни в единицах мощности на душу населения. Не исключено, что в ближайшие 5 лет Китай может войти в число стран с технологическим мегатрендом

«устойчивое инновационное развитие», обеспечивая на протяжении последних 25 лет устойчивые темпы роста полезной мощности 6-12 % годовых.

Выделенный мегатренд «устойчивое инновационное развитие» является новой тенденцией мирового технологического развития и по этой причине требует более внимательного рассмотрения.

Интегральные оценки дают возможность оценить вклад прорывных технологий в качество жизни: увеличение КСТ на 1%, при начальных условиях  $K_{СТ} = 0,3$  и  $\Delta P = 7\%$ , равносильно вкладу в совокупный продукт страны: 283 млрд долларов США или 283 ГВт и вкладу в качество жизни 3 500 долларов США или 3,4 кВт/чел.

Произведенный анализ и оценка новых тенденций мирового технологического развития, оценка технологических мегатрендов и прорывных технологий в области различных систем жизнеобеспечения дают основание сделать вывод:

«Магистральным направлением мирового технологического развития на ближайшие 20 лет следует принять переход на устойчивое инновационное развитие, которое рассматривается как дальнейшее развитие инновационной стратегии с последующим переходом к стратегии устойчивого инновационного развития в глобальной системе «человек – общество – природа».

**Какими прорывными технологиями будет «питаться» устойчивое инновационное развитие?**

Всеми прорывными технологиями, которые дадут максимальный вклад в эффективность использования всех видов ресурсов, в устойчивое инновационное развитие страны.

Ярким примером таких технологий являются экспериментальные работы, выполненные учеными Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) в области ядерной энергетики. В настоящей статье обсуждается место ядерной энергетики в глобальном прорыве XXI века. Показано, что повышение потребления энергии в Мире возможно только при условиях дальнейшего развития ядерной энергетики.

Идея использования пучков ускорителей для ядерной энергетики обсуждается давно с 50-60 годов [3-7]. Известны проекты электроядерных бланкетных систем и установок, содержащих ускоритель заряженных частиц, предпочтительно протонов, канал для транспортировки заряженных частиц к мишени, узел мишени и размножающий бланкет, окружающий узел мишени. Бланкеты в разных решениях отличаются по материалу замедлителя, конструкции и содержат различные виды топлива от обогащенного урана [3] до расплавленных солей, содержащих торий [4] или непосредственно радиоактивных отходов [5]. Рассматривается также множество других подкритических систем [6-17].

Подкритические системы, управляемые внешними пучками заряженных частиц Accelerator Driven System (ADS), в настоящее время рассматриваются в качестве перспективных для выработки энергии и трансмутации облученного ядерного топлива (ОЯТ). ADS или электроядерный способ получения энергии - это управление пучками электронов, нейтронов или протонов выведенных из различных ускорителей для облучения ядерных систем, или мишеней из свинца, тантала, висмута, установленных в бланкете АЭС. Полученные пучки вторичного каскада частиц ( $e$ ,  $n$ ,  $\mu$ -,  $\pi$ -) облучают не работающие, т.е. те ТВЭЛы, в которых процесс деления  $^{235}\text{U}$  остановился.

Формирование каскада вторичных частиц, главное вторичных нейтронов в процессе взаимодействия выведенных из ускорителей пучков нейтронов или протонов и получение энергии в реакциях деления  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , или смешанного MOX-топлива (70%  $^{235}\text{U}$  + 30%  $^{239}\text{Pu}$ ) делает реалистичным создание ADS-систем, обусловленную рядом преимуществ: решение проблемы безопасности эксплуатации таких систем, увеличение процесса эксплуатации ТВЭЛов от 5% до 70% и выше, возможность возобновления деления ядерного топлива. [6-10]. По существу это обстоятельство и является отправной точкой создания мини АЭС.



Значительное усиление позиции ядерной энергетики может произойти в связи с экспериментами, проведенными на 4-ом энергоблоке Белоярской АЭС Свердловской области [20]. Сенсация состоит в том, что российские атомщики предложили использовать на 4-ом блоке реактора на быстрых нейтронах БН-800 в качестве топлива не редкий  $^{235}\text{U}$ , как на обычных АЭС, а «отвальный» изотоп  $^{238}\text{U}$ , составляющий 99% добываемого урана и 94% отходов традиционной атомной энергетики. Научно-технический прогресс, который реализуется в случае данного эксперимента, способен обеспечить страну доступной и в меру дешевой электроэнергией на несколько сотен лет вперед. Распространенность изотопов урана в природе известна:  $^{234}\text{U}$ ( $2,44 \times 10^5$ лет) 0,005%;  $^{235}\text{U}$ ( $7,04 \times 10^8$ лет) 0,7%;  $^{238}\text{U}$ ( $4,47 \times 10^9$ лет) 99%. Ученые многих стран мира мечтают использовать  $^{238}\text{U}$  в качестве топлива для АЭС.

Из наших экспериментов известно, если  $^{238}\text{U}$  бомбардировать быстрыми нейтронами, он превращается в плутоний  $^{239}\text{Pu}$ ( $2,439 \times 10^4$ лет), т.е. в новое, готовое топливо для АЭС. Этот факт и был использован на 4-ом блоке БН-800 Белоярской АЭС. В этом случае реактор на быстрых нейтронах работает в качестве размножителя, когда нового топлива оказывается больше, чем загруженного первоначально. С такими реакторами добывать свежий уран уже не требуется, обогащать его тоже не нужно. Безопасность такого реактора значительно повышается.

Таким образом другим перспективным усилением позиции ядерной энергетики с использованием реакции облучения  $^{238}\text{U}$  нейтронами с интенсивностью 1013 н/сек для получения  $^{239}\text{Pu}$  становится новая концепция строительства небольших АЭС для производства энергии и трансмутации долгоживущих радиоактивных изотопов подкритическими системами, управляемыми внешними источниками быстрых нейтронов[18,19].

Такая электроядерная установка для производства энергии и трансмутации долгоживущих изотопов облученного ядерного топлива (ОЯТ) является прообразом самого безопасного ядерного реактора – мини АЭС. Это подкритическая установка с  $K_{\text{эфф}}=0.95-0.98$ , т.е. цепная реакция деления осуществляться не может. В случае чрезвычайной ситуации все реакции в бланкете установки могут быть быстро остановлены выключением ускорителя. В последние годы приходит понимание двух потрясающих вещей. Первая, на наших глазах в России происходит научно-технический прорыв, который в случае успеха, способен обеспечить страну дешевой энергией на несколько сотен лет вперед. И второе, прорыв подготовлен многолетним, кропотливым трудом физиков-ядерщиков, проводивших эксперименты на пучках протонов от 10 ГэВ до 660 МэВ и пучках нейтронов 14,5 МэВ. Главный вывод этих экспериментов: спектры вторичных нейтронов, вылетающих при облучении мишени электроядерной установки протонами с энергией 660 МэВ и нейтронами с энергией 14.5 МэВ, практически идентичны. Это хорошо вписывается в концепцию создания небольших мини АЭС на базе уже освоенных реакторов для подводных лодок.

Выполненные предприятиями и исследовательским институтом "Росатом" к 2018 году планируется создание плавучей АЭС (ПАЭС) "Академик Ломоносов" на базе освоенных судовых реакторов источников энергии нового класса. Они будут использоваться для опреснения воды, электричества бытового и промышленного типа[20]. Планируется строительство ПАЭС мощностью от 3,5 до 70 МВт для портовых городов, для добывающих газовых и нефтяных комплексов. Рассматривается проект по строительству плавучих атомных электростанций малой мощности (ПАЭС)[20].

Малые АЭС наилучшим образом приспособлены для эксплуатации в трудно доступных местах огромной России. В РФ это в первую очередь районы дальнего Востока и Крайнего севера. В этих регионах единой энергосистемы. Здесь необходимы экономически выгодные и надежные источники снабжения электроэнергией. Малые АЭС намного дешевле других источников энергии. Они безотходны, безопасны и не несут той гигантской разрушительной опасности. Можно с уверенностью констатировать, что будущее ядерной энергетики связано

с концепцией строительства малых АЭС, которые обеспечат надлежащий уровень жизни населению[21].

**Рекомендации по развитию инновационной стратегии и созданию промышленности устойчивого инновационного развития как технологической базы ускоренного социально-экономического развития страны.**

Инновационное развитие страны – необходимое, но не достаточное условие устойчивого инновационного развития. Инновационную компоненту нужно подкреплять прорывными технологиями.

На повестку дня выдвигаются вопросы построения промышленности устойчивого инновационного развития.

Создание основ промышленности устойчивого инновационного развития должно быть основным результатом стратегии инновационного развития и ключевой задачей на первом этапе перехода к устойчивому развитию страны. Инновационной базой этой промышленности являются прорывные технологии систем жизнеобеспечения.

Использование прорывных технологий как главного фактора выхода страны на траекторию устойчивого инновационного социально-экономического и экологического развития с опорой на собственные мощности может быть своевременно осуществлено лишь в том случае, если эта задача чрезвычайной исторической важности станет основой государственной политики страны, обеспечивающей масштабную поддержку всех механизмов для реализации прорывных технологий, обеспечивающих существенное повышение эффективности приоритетных систем жизнеобеспечения страны, включая: образование, здоровье, питание, жилье, вода энергия, транспорт.

Переход страны на устойчивый инновационный путь развития, главным элементом которого как раз и являются прорывные идеи, проекты и технологии, невозможен без формирования конкурентоспособной в глобальном масштабе национальной инновационной системы прорывных технологий для устойчивого инновационного развития страны. Необходима полноценная инфраструктура во всех сферах общественной жизни в целях повышения эффективности систем жизнеобеспечения страны на основе реализации творческого потенциала человека, прорывных идей и технологий.

Оказавшись в контексте Особого Периода глобальных изменений в мире, Россия имеет реальную возможность воплощения принципов устойчивого инновационного развития в XXI веке, которая может быть реализована безальтернативным путем – мобилизацией интеллектуальных и ресурсных мощностей страны на создание промышленности устойчивого инновационного развития страны основанной на практическом использовании и развитии прорывных технологий. Общая линия, вокруг которой должны концентрироваться приоритеты при ориентации развития страны – это технологическая реконструкция и структурная перестройка промышленности на основе прорывных технологий в целях перехода к устойчивому инновационному развитию в долгосрочной перспективе.

#### **Может ли Россия решить такую задачу?**

Может. Но для этого необходимы, прежде всего, профессионально компетентные кадры. Должна проводиться принципиально новая политика управления на национальном и региональном уровнях, основанная на ответственности и умении правильно применять на практике общие законы Реального мира.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Большаков Б.Е. Моделирование основных тенденций мирового технологического развития/ Электронное научное издание «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление» том 6 №4 (9), 2010, ст. 33 -63. <http://www.gypravlenie.ru/>
2. Большаков Б.Е., Кузнецов О.Л. Б 79-9 Инженерия устойчивого развития. – М.: РАЕН, 2012. – 507 с. ISBN 978-5-94515-134-5
3. Durpel L. Van Den et al. The ADONIS-project: an accelerator driven operated sub-critical system. The Eighth International Conference on Emerging Nuclear Energy

Systems.ICENES'96.June 24-28, 1996, Obninsk, Russia, Institute of Physics and Power Engineering. Proceedings, vol.2, 526-532.

4. Rubbia C. CERN Concept of ADS. Feasibility and motivation for hybrid concepts for nuclear energy generation and transmutation.IAEA-TC-903.3 Proceedings of the International Atomic Energy Agency Technical Committee Meeting. Madrid, Spain, 17-19 September 1997. 1998. Ciemat pp. 26-171.

5. Takizuka T., Sasa T., Tsujimoto K. Hybrid System concepts for nuclear waste transmutation.Ibid.,345-356,1997.

6. Shvedov O.V., Vasiliev V.V. et al. Safety System for Subcritical Blanket driven by Pulsed Accelerator. The Eighth International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems.ICENES'96.June 24-28, 1996, Obninsk, Russia, Institute of Physics and Power Engineering. Proceedings, vol.2, 534-540.

7. Gusev B. Automatic Technological lines for production of precast concrete 2 -nd Enlarged edition. Izhevsk, KIT, 2015, 72 p.

8. Gusev B. Advanced technologies in precast concrete manufacture. 2-nd Enlarged edition, Jenn-Chuan Chern Sustainable Public Infrastructure and Carbon Reduction. Department of Izhevsk, 2015, 187 p.

9. Chern Jenn-Chuan Sustainable Public Infrastructure and Carbon Reduction. Department of Civil Engineering National Taiwan University, Taipei, 2015, 10 p.

10. Rubbia C., Rubio J.O., Buono S. et al. Conceptual design of a fast neutron operated high power energy amplifier. — IAEA-TECDOC-985, 1997, p. 187—312.

11. Бутцев В.С., Чигринов С.Е. и др. Бустерная подкритическая сборка, управляемая генератором нейтронов: Препринт ОИЭЯИ-14. — Минск, 2004. 31 с.

12. Shvetsov V.N., et al., "Construction of the subcritical combined neutron spectra driven by proton accelerator at protons energy 660 MeV for experiments on long lived fission products and minor actinides transmutation», ISTC application, JINR Preprint E1-2000-307, Dubna, 2000.

13. Шелаев И.А., Балдин А.М., Малахов А.И., Лангрок Э.Ю., Ускоритель и реактор, Письма в ЭЧАЯ, №6 (103) – 2000.

14. Arkhipkin D.A., Buttsev V.S., Sissakian A.N., et al. Neutron spectra emitted from the lead target irradiated by 660 MeV protons. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 505 (2003) 397.

15. Buttsev V.S., Brandt R., et all, Transmutation of radioact. waste with the help of relativistic heavy ions. Preprint JINR, E1-57-211, Dubna, 1997, Kerntechnik, Vol.26, 1998.

16. Buttsev V.S., Brandt R., et all, Emission of relativistic heavy fragments at wide angles from the interaction of 58 GeV O-16 ions copper target, Radiation measurement, Vol.29, 1998

17. Buttsev V.S., Sissakian A.N., et all, Research programme For the 660 MeV Proton accelerator Driven MOX-Plutonium Subcritical assembly, "Topical Conference on Plutonium and Actinides" Plutonium Futures- The Science, Santa Fe, New Mexico, USA 2000. AIP Conference Proceedings 532, Melville, New York, Preprint JINR, E1-200-64, 2000.

18. Бутцев В.С., Марцынкевич Б.А., Чигринов С.Е. и др., Особенности формирования нейтронных полей в системах «НЕЙТРОНОПРОИЗВОДЯЩАЯ МИШЕНЬ – ЗАМДЛИТЕЛЬ», Облучаемых частицами высоких энергий, PROBLEMS OF ATOMIC SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2005, № 6, Series: Nuclear Physics Investigations (45), p. 101–105

19. Бутцев В.С., Косырев В.Е., Павлов А.А., Системный мониторинг гомеостаза антропогенных и природных факторов, Электронное научное издание "Устойчивое развитие: проектирование и управление", том 12, №1(30), 2016, с.2-12.

20. Воробьев В.М. Разработка плавучих атомных станций, Электронная библиотека ИСТОРИЯ РОСАТОМА, История малой атомной энергетики вып.5-2004-154-168

21. В.С. Бутцев Наше время.- М.: Издательство "Академика",2016.

УДК 621.311.182

**МНОГОКАМЕРНЫЙ РЕАКТОР НЕПРЕРЫВНОЙ ЗАГРУЗКИ СЫРЬЯ ДЛЯ  
ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА  
MULTI-CAMERA REACTOR CONTINUOUS DOWNLOADING RAW MATERIALS FOR  
OBTAINING BIOGAS**

**Сергей Владимирович Вендин, Артем Юрьевич Мамонтов  
Sergey V. Vendin, Artem Y. Mamontov**

*Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я.Горина, Россия,  
Белгородская область, п. Майский  
Belgorod state agricultural university named after V.Gorin,  
Russia, Belgorod region, Mayskiy  
(e-mail: elapk@mail.ru)*

*Аннотация:* Рассмотрены конструкция и принцип действия многокамерного реактора непрерывной загрузки сырья для получения биогаза. Особенностью конструкции является многокамерность и то, что длины лопастей-мешалок в системе перемешивания пропорционально уменьшаются от нижней камеры к верхней камере. Использование предложенного технического решения позволяет экономить энергозатраты на обогрев массы, а также повышает эффективность выхода биогаза.

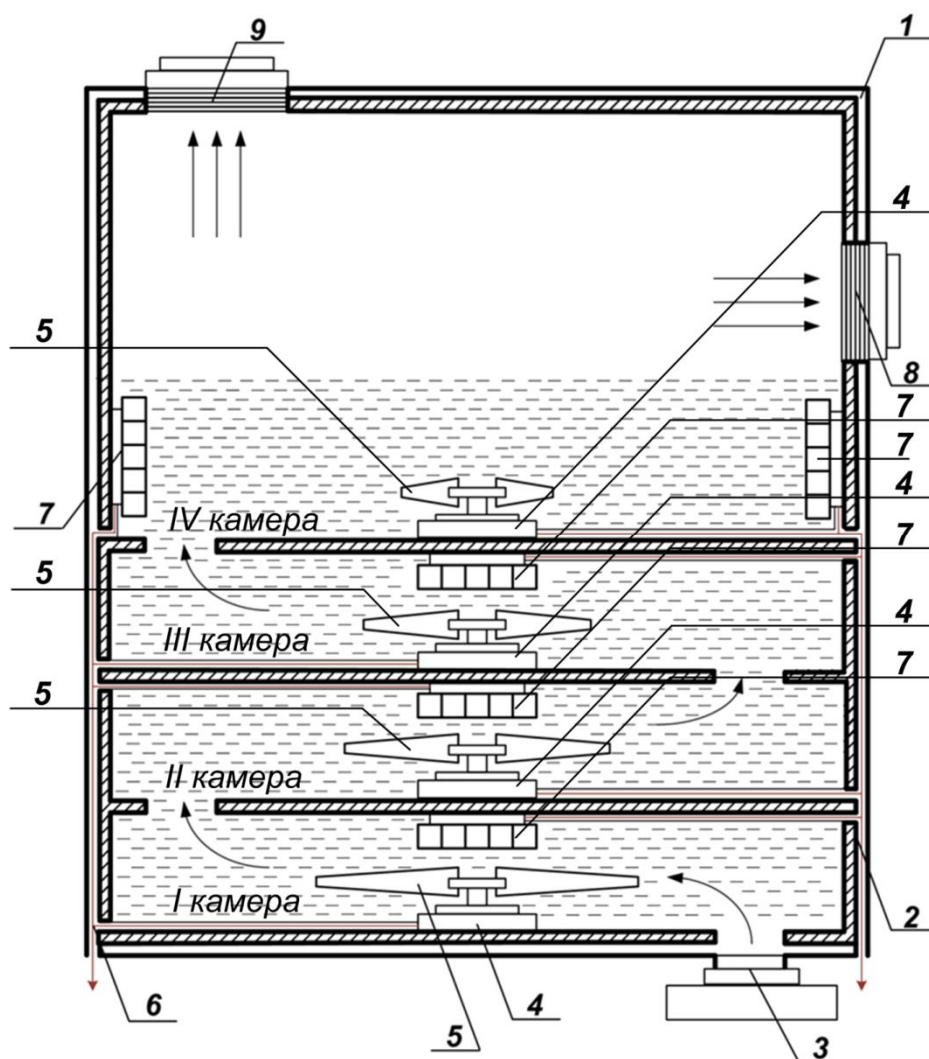
*Abstract:* The design and operation principle of a multi-chamber reactor for continuous feedstock utilization for biogas production are considered. A feature of the design is multi-chambering and the fact that the lengths of the agitator blades in the mixing system proportionally decrease from the lower chamber to the upper chamber. The use of the proposed technical solution saves energy costs for heating the mass, and also increases the efficiency of the output of biogas.

*Ключевые слова:* биогаз, биогазовый реактор, анаэробное сбраживание, лопасти-мешалки, многокамерная конструкция.

*Keywords:* biogas, biogas reactor, anaerobic digestion, agitator blades, multi-chamber structure.

Эффективная переработка органических отходов в биогаз является актуальной научно-технической задачей [1-7]. Традиционная конструкция биогазового реактора представляет собой цельную емкость, в которой процесс сбраживания происходит в едином перемешивающем режиме при соблюдении определенных температурно-влажностных режимов в зависимости от типа брожения. Одним из недостатков такой конструкции является сложность организации непрерывности процесса получения биогаза.

Для обеспечения непрерывности процесса получения биогаза предлагается многокамерная конструкция установки анаэробной переработки органических отходов, содержащая ёмкость, разделенную на 4 камеры; систему обогрева биомассы до нужной температуры в каждой камере; усовершенствованную систему перемешивания в каждой камере (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Схема биогazового реактора непрерывной загрузки сырья**

1 - емкость реактора; 2 - теплоизоляционная защита; 3 – компрессор загрузки сырья; 4 – регулируемый электропривод; 5 - двулопастевая мешалка; 6 - силовые и информационные кабели коммутации; 7 - нагревательный элемент; 8 - компрессор для выкачки отработанного сырья; 9 – компрессор для откачки биогazа в газгольдер

Особенностью конструкции является то, что длины лопастей-мешалок в системе перемешивания пропорционально уменьшаются от нижней камеры к верхней камере. Биогazовый реактор работает следующим образом. Из нижнего отверстия (3) биомасса движется вверх по камерам. В каждой камере биомасса перемешивается двулопастевыми мешалками (5), вращаемыми электроприводом (4), и подогревается нагревательными элементами (7). По истечению цикла сбразивания, отработанный субстрат откачивается в отверстие для слива отработанного сырья (8). Выход биогazа осуществляется в специальное отверстие (9). В биогazовом реакторе непрерывной загрузки сырья предусмотрены: теплоизоляционная защита (2), обеспечивающая поддержание температуры и кабельные каналы (6) для коммутации силовых и информационных кабелей.

В конструкции реактора имеются коммуникационные отверстия, обеспечивающие связь между камерами и равномерное распределение субстрата. В каждой камере предусмотрены мешалки с обособленным режимом перемешивания. Длина лопастей-мешалок в реакторе пропорционально уменьшается от нижней камеры к верхней при движении субстрата.

Перемешивание биомассы лопастями-мешалками, находящимися в камере (I), управляемые электроприводом, осуществляется 6 раз в сутки, 1 цикл в 4 часа. Один цикл для

камеры (I) составляет 5 полных оборотов, после чего перемешивание останавливается до следующего цикла перемешивания. Перемешивание биомассы лопастями-мешалками, находящимися в камере (II), управляемые электроприводом, осуществляется 5 раз в сутки, 1 цикл в 4,8 часа. Один цикл для камеры (II) составляет 4 полных оборота, после чего перемешивание останавливается до следующего цикла перемешивания. Перемешивание биомассы лопастями-мешалками, находящимися в камере (III), управляемые электроприводом, осуществляется 4 раз в сутки, 1 цикл в 6 часов. Один цикл для камеры (III) составляет 3 полных оборота, после чего перемешивание останавливается до следующего цикла перемешивания. Перемешивание биомассы лопастями-мешалками, находящимися в камере (IV), управляемые электроприводом, осуществляется 3 раза в сутки, 1 цикл в 8 часов. Один цикл для камеры (IV) составляет 3 полных оборота, после чего перемешивание останавливается до следующего цикла перемешивания.

Длина всех лопастей-мешалок реактора рассчитывается от длин лопастей-мешалок, находящихся в камере I. Длина лопасти-мешалки камеры I равна коэффициенту 0,75 длины диагонали основания дна реактора. Длина лопастей-мешалок II принята за коэффициент 0,8 по отношению к длине лопасти мешалки камеры I. Длина лопастей-мешалок III принята за коэффициент 0,6 по отношению к длине лопасти мешалки камеры I. Длина лопастей-мешалок IV принята за коэффициент 0,4 по отношению к длине лопасти мешалки камеры I.

В заключение следует отметить, что в предлагаемой конструкции биогазового реактора обеспечивается непрерывный цикл анаэробного сбраживания, повышается эффективность переработки отходов животноводческого и растениеводческого субстрата за счет уменьшения длин мешалок от ранней фазы к более поздней и покамерного разделения реактора, способствующего обеспечению индивидуального температурного режима для каждой фазы сбраживания. Кроме того использование установки экономит энергозатраты на обогрев массы, а также повышает эффективность выхода биогаза за счет отсутствия разрыва связи между бактериями, участвующими в процессе анаэробного сбраживания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор технологий производства энергии газификацией биомассы / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Экотехнологии и ресурсосбережение. 1998. №3.
2. Трахунова И.А. Эффективность процесса анаэробного сбраживания при различных режимах гидравлического перемешивания] / И.А. Трахунова, Г.Р. Халитова, Ю.В. Караева // Альтернативная энергетика и экология. – 2011. – № 10.– С. 90-94.
3. Виноградов А.А. Программа расчета параметров газгольдера и реактора биоэнергетической станции / А.А. Виноградов, А.Ю. Мамонтов, А.В. Каплин // Вестник Мичуринского аграрного университета – 2015, №4 С. 186-193.
4. Виноградов А.А. Компьютерная программа расчета параметров животноводческой фермы с биостанцией / А.А. Виноградов, А.Ю. Мамонтов, А.В. Каплин // Промышленная энергетика – 2016. – №5. – С. 46-49.
5. Вендин С.В., Мамонтов А.Ю. Обоснование параметров терморегуляции и перемешивания при анаэробном сбраживании / С.В. Вендин, А.Ю. Мамонтов // Сельский механизатор – 2016. – №7. – С. 20-22.
6. Вендин С.В., Мамонтов А.Ю. Автоматизация механических и тепловых процессов в многокамерном биогазовом реакторе непрерывной загрузки сырья / С.В. Вендин, А.Ю. Мамонтов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина.- 2016. №4 (74).- С.55-60.
7. Вендин С.В. Программа расчета геометрических и конструкционных параметров биогазового реактора / С.В. Вендин, А.Ю. Мамонтов, А.В. Каплин // Промышленная энергетика – 2017. – №3. – С. 51-55.

УДК 629.7;678.5

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ  
ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ВЕТРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ  
PROSPECTS OF THE USE OF POLYMER COMPOSITES FOR ELEMENTS OF  
CONSTRUCTIONS OF WIND POWER TRANSDUCERS**

**Владимир Семенович Боголюбов\*, Игорь Владиславович Малков\*\*,  
Vladimir S. Bogolyubov, Igor V. Malkov**

*\*Отраслевой научный центр «Композит» Национального института авиационных технологий, Россия, Москва*

*Branch Scientific Center "Composite" of the National Institute of Aviation Technologies,  
Russia, Moscow*

*(e-mail:bogsampe@gmail.com)*

*\*\*Луганский государственный университет им. В. Даля, Украина, Луганск*

*Lugansk State University named after V. Dal, Ukraine, Lugansk*

*(e-mail:i.v.malkov@mail.ru)*

*Аннотация:* Для уменьшения потребления первичных энергоресурсов необходимо развитие возобновляемых источников энергии. Одним из таких направлений является ветроэнергетика. Многие элементы конструкций ветровых преобразователей энергии создаются из полимерных композиционных материалов. Однако существуют проблемы в вопросах соединения композита и металла. Показан пример моделирования и оптимизации такого вида соединения.

*Abstract:* To reduce the consumption of primary energy resources, the development of renewable energy sources is necessary. Wind power is one such direction. Many elements of designs of wind energy converters are created from polymer composite materials. However, there are problems in the connection of composite and metal. An example of modeling and optimization of this type of connection is shown.

*Ключевые слова:* ветровые преобразователи энергии, лопасть воздушного винта, полимерные композиционные материалы.

*Keywords:* wind energy converters, propeller blade, polymer composite materials.

В России есть значительные предпосылки для развития ветроэнергетики, а именно: большие площади для строительства ветровых преобразователей энергии (ВПЭ), свободные от промышленной и жилой застройки, от интенсивного использования в земледелии, большие мощности на машиностроительных заводах, способных производить высокоэффективные современные модели ВПЭ для внутренних потребностей России и на экспорт; квалифицированные кадры на машиностроительных заводах, имеющих опыт производства ВПЭ и адаптации технологической документации в российские конструкторские и технологические стандарты, данные многолетних наблюдений характеристик ветрового режима в районах перспективного строительства ВПЭ-станций; квалифицированные кадры в области строительства, наладки и эксплуатации ВПЭ.

Интенсивное развитие ветровой энергетике, которое наблюдается в последнее время, обусловлено государственной политикой содействия развитию возобновляемых источников энергии.

Производственная база России позволяет не только обеспечивать потребности в более дешевой ветротехнике для собственных ВПЭ, но и обеспечить ее экспорт в страны СНГ и Восточной Европы.

На стадии проектирования и монтажа оборудования находятся Западно-Сивашская, Судакская, Черноморская, Восточно-Крымская, Сакская, Тарханкутская, Джанкойская, Владимирская и Чонгарская ВПЭ общей мощностью более 300 МВт.

Ветровая турбулентность подвергает лопасти стохастической нагрузке. Данная стохастическая нагрузка оказывает воздействие на усталостную реакцию конструкции винта, а масса лопасти в значительной степени воздействует на ее производительность (эффективность). Таким образом, материал, используемый для больших лопастей должен иметь высокий показатель жесткости, который будет сохранять работу аэродинамики; низкую плотность, которая будет снижать вес и усталостную долговечность материала для лопасти, которая будет уменьшать его деструкцию.

Для эффективной оценки работы композитов из E-стекла необходимо точно определять его статические и усталостные свойства. Такой процесс «калибровки» отвечает за объединение волокна и матрицы в единую материальную систему, учитывая производственные дефекты.

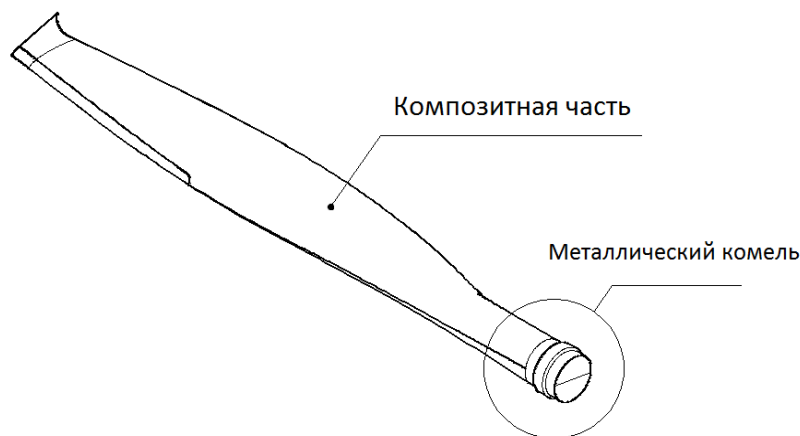
Для понимания механизма разрушения лопасти, подвергнутой циклической усталостной нагрузке, нужен эффективный просмотр деталей инициации разрушения, роста и более позднего распространения до разлома. Так, прогнозирование усталостной долговечности композитов из E-стекла является критическим для моделирования воздействия разрушения на лопасти. В работе [1] даются некоторые экспериментальные данные по усталости для композитов из E-стекла.

Создание принципиально новых конструкционных материалов, обладающих высоким уровнем физико-механических свойств, которые практически недостижимы в традиционных металлических сплавах и полимерных материалах [2,3], а также появлению целого ряда программных расчетных средств [4], позволяет еще на стадии проектирования получить все необходимые расчетные параметры будущего материала [5]. Одним из таких современных расчетных комплексов является широко известный программный продукт ANSYS. Применение такого тандема, сделало возможным создание конструкций с заданными свойствами, наиболее полно отвечающими характеру и условиям работы.

В авиационно-космической технике предпочтительными являются неразъемные соединения (сварные, клееные и т.д.) [6]. Они обладают существенно меньшей, чем разъемные соединения, массой конструкции, дешевле, менее трудоемки и имеют меньшую длительность циклов изготовления [7,8]. Поэтому исследование создания рациональных конструкций соединений для различных видов нагружения является актуальной проблемой [9-13].

Целью работы является моделирование рационального соединения металлического комля с композитной цилиндрической частью лопасти на основе анализа характеристик локального НДС с помощью программного комплекса ANSYS.

Стеклопластиковая лопасть изготавливается из стеклокомпозита и соединяется с комлевой частью, выполненной из металла (рис. 1).



**Рис. 1. Композитная лопасть с металлическим комлем**

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:



- создание модели соединения в среде ANSYS;
- определение рациональной конструкции соединения металлического комля и композитного материала (расположение шипов).

Для упрощенного расчета соединения на прочность учитывается только влияние центробежной силы, возникающей при работе винта. Не берется во внимание изгиб лопасти и кручение её вокруг собственной оси от набегающего потока воздуха. Центробежная сила вычисляется исходя из параметров лопасти и её эксплуатации, представленных в таблице 1.

**Таблица 1. Расчетные параметры лопасти**

Параметр	Обозначение	Значение
Масса композитной части лопасти, кг	m	1
Диаметр вращения, м	D	1,8
Максимально допустимые обороты винта, об/мин (об/с)	$\omega$	3000 (50)

Найдем центробежную силу, действующую на соединение при эксплуатации:

$$F_c = 0,5 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot D. \quad F_c = m \cdot \omega^2 \cdot \frac{D}{6} \quad (1)$$

Подставив значения, получаем значение центробежной силы равное  $F_c = 750$  Н.

В программном комплексе ANSYS производится статическое нагружение соединения, что позволяет оценить характер распределения напряжения в соединении. Для этого была создана модель комля и конечно-элементная сетка соединения.

Комель изготовлен из дюралюминия Д16Т и представляет собой трубку, с одной стороны которой имеется выступ, для его фиксации во втулке винта, с другой стороны шипы, для крепления композитной части лопасти. Композитная часть лопасти, в месте крепления с комлем, представляет собой композитный пакет, состоящий из 4-х тканых слоев, пропитанных эпоксидной смолой. Все 4 слоя выложены вдоль оси лопасти.

Характеристики материалов, используемых при расчете напряженного состояния, представлены в таблице 2.

**Таблица 2. Физико-механические характеристики материала лопасти**

Наименование элемента (материал)	Модуль упругости, МПа	Коэффициент поперечной деформации
Комель (дюраль)	71000	0,33
Стеклопластиковая лопасть (стеклоткань)	45000	0,3

С целью проверки шипового соединения контакт между комлем и композитной частью лопасти принимается с коэффициентом трения равным 0,3. Элементы данной модели рассчитываются на растягивающее усилие, возникающее при вращении винта.

Для определения рационального количества шипов выбрано два изменяющихся параметра:

- количество рядов шипов по радиусу;
- количество поясов шипов.

На рис. 2а изображена схема расположения шипов в месте соединения металла с композитом, а на рис. 2б схема крепления и нагружения соединения.



Рис. 2. Схемы расположения шипов (а) и нагружения (б).

При моделировании зависимости количества поясов изменяем расстояние между шипами при этом получаем характер распределения эквивалентных напряжений от схемы расположения шипов.

По полученным в процессе моделирования напряжениям, возникающим при разных схемах расположения шипов, построен график (рис.3).

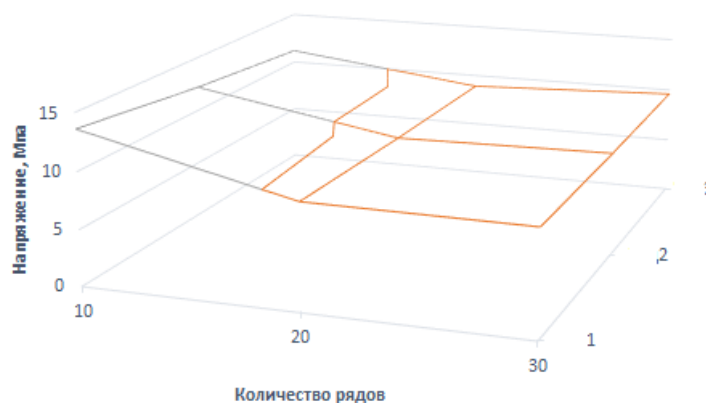


Рис. 3. График распределения напряжения в зависимости от схемы расположения шипов.

Расчет показал, что изменение формы, размеров и порядка расположения шипов снижает максимальные напряжения с 710 МПа до 385 МПа. Проведенные испытания гидравлическим давлением подтвердили результаты расчетов.

#### Выводы

1. Определены конструктивно-технологические параметры, повышающие свойства соединения металлического комля с композитным материалом.
2. Сокращено время проектирования, а соответственно затраты на создание конструкции с заданными прочностными характеристиками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. F. Abdi, T. Castillo, D. Huang, V. Chen, A. DelMundo, "Virtual Test-ing of the X37 Space Vehicle," SAMPE Conference Paper 2002.

2. Коваленко В. А. Применение полимерных композиционных материалов в изделиях ракетно-космической техники как резерв повышения ее массовой и функциональной эффективности [Текст] /В.А. Коваленко, А.В. Кондратьев // Авиационно-космическая техника и технология. - 2011. - № 5 (82). –С.14-20.

3. Харченко М.Е. Приближенные зависимости между пределами прочности полимерных композиционных материалов при сжатии, растяжении и изгибе / М.Е. Харченко // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2 (74).– X., 2013. – С. 54 – 63.

4. Полиновский В. П. Применение программных продуктов фирмы MSC. Software для

расчета новых изделий из композиционных материалов в ГКНЦ им. М. В. Хруничева [Электронный ресурс.] / В. П. Полиновский // Тр. Рос. конф. пользователей систем MSC 2003 г. - М.: MSC. Software Corporation. Режим доступа: [http://www.mssoftware.ru/document/conf/Moscow\\_conf/conf\\_2003/khntn2.zip](http://www.mssoftware.ru/document/conf/Moscow_conf/conf_2003/khntn2.zip). - 07.06.2011 г.

5. Карпов Я.С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов: [Текст]: учебник / Я.С. Карпов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2010. – 768 с.

6. Карпов Я.С. Соединение деталей и агрегатов из композиционных материалов [Текст] / Я.С. Карпов. –Х.: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2006. –359 с.

7. Гагауз Ф.М. Моделирование структурных параметров композита в соединительном элементе / Ф.М. Гагауз, В.В. Гуменников // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2 (74).– Х., 2013. – С. 46 – 53.

8. Яковенко П.Я. Моделирование импульсного нагружения металлокомпозитных цилиндрических оболочек с частичным армированием [Текст] / П.Я. Яковенко, И.В. Малков, В.Г. Корбач, Г.В. Сыровой // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Сб. научн. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского, «ХАИ»- Харьков, № 58, НАУ, 2013, С.73-80.

9. Малков И.В. Моделирование и оптимизация соединения металлического фланца с композитным корпусом РДДТ в специализированном приложении Ansys [Текст] / И.В. Малков, Г.В. Сыровой, И.Л. Непран // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии // Сб. научн. тр. Нац. аэрокосм. ун-та имени Н.Е. Жуковского, «ХАИ»- Харьков, № 48, НАУ, 2010, С.80-86.

10. Malkov I. Properties of epoxy materials with different nano-modifiers / I. Malkov, L. Bondar, A.Makukhin, G. Syrovoy // ТЕКА.Commission of motorization and power industry in agriculture Lublin university of technology. Lublin, 2010.p.28-32.

11. Malkov I. Effect of nanomodification on durability of adhesive joint of polymeric composite materials / I. Malkov, L. Bondar, A.Makukhin, G. Syrovoy // ТЕКА.Commission of motorization and power industry in agriculture Lublin university of technology. Lublin, 2010. p.185-189.

12. Igor Malkov. The analysis of adhesion effect on properties of the modified polymeric nano composites / Igor Malkov, Gennadiy Sirovoy, Sergii Kashkarov, Igor Nepran. - ТЕКА Vol. 12 N. 4.

13. Igor Malkov. The calculation method of small-sized composite enclosures in CAD/CAE systems/Igor Malkov, Gennadiy Sirovoy, Sergii Kashkarov, Igor Nepran, ТЕКА Vol. 12 N3.

УДК621.922.3

**ИННОВАЦИОННЫЙ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ВИСКОЗИМЕТР ООО «ХИММОТОЛОГ»  
INNOVATIVE UNIVERSAL VISCOSIMETER BY «HIMMOTOLOG» LLC**

**Ришат Гаязович Нигматуллин, Константин Николаевич Фиофанов,  
Рустем Фаузарович Галиев, Ильшат Ришатович Нигматуллин,  
Руслан Галеевич Хамидуллин, Виль Ришатович Нигматуллин  
Rishat G. Nigmatullin, Konstantin N. Fiofanov, Rustem F. Galiev, Il'shat R. Nigmatullin,  
Ruslan G.Khamidullin, Vil' R. Nigmatullin**

*ООО «Химмотолог», Россия, Уфа  
«Himmotolog» LLC, Russia, Ufa  
(e-mail: nigmatullin@himmotolog.ru)*

*Аннотация:* В ООО «Химмотолог» разработан инновационный универсальный портативный вискозиметр, с помощью которого автоматически при температурах от -60 до 100 °С определяются динамическая и кинематическая вязкость, а также рассчитывается

плотность исследуемой жидкости имеющей широкий диапазон вязкости. Определение вязкости вязких жидкостей, включая смазочные материалы и каучуки, позволяет заменить современное, как правило, громоздкое лабораторное оборудование для определения динамической вязкости и условной вязкости. Зная вязкость и плотность можно определить с использованием формул и другие показатели жидких сред, например, цетановое число топлива. Результаты измерений в цифровом виде отражаются на дисплее прибора и сохраняются в его памяти.

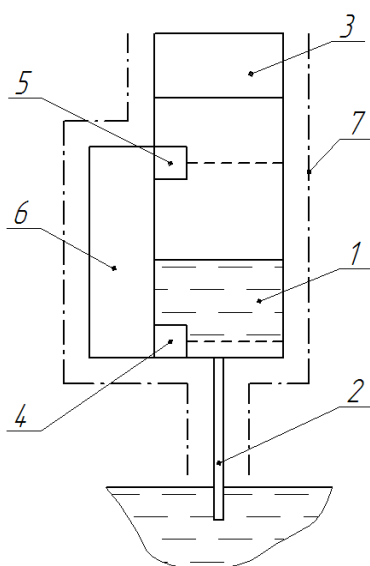
*Abstract:* In the "Himmotolog" LLC, an innovative universal viscometer is developed that automatically and at a temperature of  $-60$  to  $100$  ° C determine the dynamic and kinematic viscosity, and the density of the test fluid having a wide range of Viscosity. The viscosity of viscous fluids, including lubricants and rubbers, allows the replacement of modern equipment to determine dynamic viscosity and normal viscosity. Knowing the viscosity and density can be determined using formulas and other indicators of liquid media, for example, cetane number of fuel. The results of measurements in digital form are reflected on the instrument display and stored in its memory.

*Ключевые слова:* вискозиметр, динамическая вязкость, кинематическая вязкость, условная вязкость, плотность, формула расчёта цетанового числа топлива.

*Keywords:* viscometer, dynamic viscosity, kinematic viscosity, viscosity, density, the formula for calculating the cetane number of fuel.

В ООО «Химмотолог» организовано производство инновационного, не имеющего аналогов портативного вискозиметра собственной разработки, который может использоваться в нефтяной, автомобильной, авиационной, машиностроительной, пищевой отраслях промышленности, где необходимо контролировать плотность, динамическую вязкость, кинематическую вязкость, условную вязкость и другие показатели жидких сред. На способ измерения вязкости и устройство вискозиметра получен патент РФ [1]. С помощью вискозиметра автоматически при температурах от  $-60$  до  $100$  °C определяются динамическая и кинематическая вязкость, а также рассчитывается плотность исследуемой жидкости. Зная эти показатели можно определить с использованием формул и другие показатели жидких сред, например, цетановое число топлива. Результаты измерений в цифровом виде отражаются на дисплее прибора и сохраняются в памяти.

Работа вискозиметра поясняется рисунком 1, на котором изображена схема предлагаемого устройства.



**Рисунок 1 – Схема вискозиметра**

После включения устройства в измерительную емкость 1 по трубке 2 с помощью создающего разрежение компрессора 3 поступает анализируемый продукт. При достижении продуктом первого датчика уровня 4 включается отсчет времени, при достижении продуктом второго датчика уровня 5 отсчет времени останавливается. На основании измерения времени по формуле Пуазейля рассчитывается динамическая вязкость.

$$\eta_{\text{д}} = \frac{\pi R^4 t \Delta p}{8 V l}$$

где  $R$  – радиус трубки;  $t$  – время заполнения измерительной емкости;  $\Delta p$  – перепад давлений на концах трубки;  $V$  – объем емкости;  $l$  – длина трубки.

После этого останавливается компрессор, продукт начинает стекать из измерительной емкости под действием силы тяжести. Как только верхняя отметка достигнет датчика уровня 5, повторно включается таймер, который продолжает отсчет до достижения продуктом датчика уровня 4. По полученному времени, с использованием предварительно определенной для устройства постоянной вискозиметра, вычисляется значение кинематической вязкости.

$$\eta_{\text{к}} = c \cdot t$$

где

$c$  – постоянная вискозиметра;

$t$  – время истечения продукта.

Плотность исследуемого продукта находится из отношения динамической вязкости к кинематической.

$$\rho = \frac{\eta_{\text{д}}}{\eta_{\text{к}}}$$

Управление компрессором, датчиками, таймером, а также расчет значений показателей осуществляются с помощью вычислительного блока 6.

При необходимости определения вязкости и плотности при температурах, отличных от температуры окружающей среды, используется термостатирующий кожух 7.

Благодаря создаваемому разрежению ёмкости вискозиметра, термостатирования и использования насадок с различными диаметрами одновременно измеряются три показателей качества жидкостей, топлив, смазочных материалов и вязких нефтепродуктов, для измерения которых обычно используются громоздкие и большой разновидности оборудование. В результате сокращаются затраты времени и материалов на подготовку пробы, очистку оборудования и другие вспомогательные действия (особенно при анализе жидкости из картера техники). Также для проведения анализа требуется меньший объем пробы продукта.

Преимуществом вискозиметра является то, что значения показателей определяются в соответствии с международной системой единиц СИ.

Принцип измерения кинематической вязкости аналогичен принципу, заложенному в стандартный способ определения кинематической вязкости по ГОСТ 33-2000. Принцип измерения динамической вязкости основан непосредственно на законе Пуазейля [2]. Плотность рассчитывается автоматически после определения динамической и кинематической вязкости.

Рассмотрим конкретные случаи.

Пример 1. Определение плотности, динамической и кинематической вязкостей свежего моторного масла Castrol Edge SAE 5W30. Температура в лаборатории +20°C. Под трубку устройства (диаметром 1,5 мм и длиной 525 мм) поместили мерный цилиндр с 40 мл масла Castrol, затем запустили компрессор, создающий относительное разрежение -61 кПа. Масло начало поступать по трубке, и через 4 минуты 39 секунд (279 с) полностью перекачалось в измерительную емкость.

По формуле Пуазейля рассчитали динамическую вязкость:

$$\eta_d = (\pi * R^4 * t * \Delta p) / (8 * l * V) = 3,1416 * 0,00075^4 * 279 * 61000 / 8 * 0,525 * 0,00004 = 0,10070 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Затем отключили компрессор, и оставили масло стекать из измерительной емкости в мерный цилиндр. Время стекания 40 мл масла составило 1 час 1 минуту (3660 с). Постоянная вискозиметра для данной трубки –  $3,23 \cdot 10^{-8}$ .

Рассчитали кинематическую вязкость:

$$\eta_k = 3,23 \cdot 10^{-8} * 3660 = 118,22 \text{ мм}^2/\text{с (сСт)}.$$

Отсюда плотность:

$$\rho = 0,10070 / (118,22 * 10^{-6}) = 851,8 \text{ кг/м}^3 \text{ при температуре } +20^\circ\text{C}.$$

Пример 2. Определение плотности, динамической и кинематической вязкостей свежего моторного масла Shell Helix Plus SAE 10W40. Температура в лаборатории –  $+20^\circ\text{C}$ . Под трубку устройства (диаметром 1,5 мм и длиной 525 мм) поместили мерный цилиндр с 40 мл масла Shell Helix Plus, затем запустили компрессор, создающий относительное разрежение – 61 кПа. Масло начало поступать по трубке, и через 6 минут 2 секунды (362 с) полностью перекачалось в измерительную емкость.

По формуле Пуазейля рассчитали динамическую вязкость:

$$\eta_d = (\pi * R^4 * t * \Delta p) / (8 * l * V) = 3,1416 * 0,00075^4 * 362 * 61000 / 8 * 0,525 * 0,00004 = 0,13065 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Затем отключили компрессор, и оставили масло стекать из измерительной емкости в мерный цилиндр. Время стекания 40 мл масла составило 1 час 18 минут 20 секунд (4700 с). Постоянная вискозиметра для данной трубки –  $3,23 \cdot 10^{-8}$ .

Рассчитали кинематическую вязкость:

$$\eta_k = 3,23 \cdot 10^{-8} * 4700 = 151,81 \text{ мм}^2/\text{с (сСт)}.$$

Отсюда плотность:

$$\rho = 0,13065 / (151,81 * 10^{-6}) = 860,6 \text{ кг/м}^3 \text{ при температуре } +20^\circ\text{C}.$$

Пример 3. Определение плотности, динамической и кинематической вязкости свежего моторного масла Castrol Edge SAE 5W30 при пониженной температуре. Температура в холодильнике –  $-20^\circ\text{C}$ . Под трубку устройства (диаметром 1,5 мм и длиной 105 мм) поместили мерный цилиндр с 20 мл масла Castrol, затем запустили компрессор, создающий относительное разрежение – 64 кПа. Масло начало поступать по трубке, и через 13 минут 35 секунд (815 с) полностью перекачалось в измерительную емкость.

По формуле Пуазейля рассчитали динамическую вязкость:

$$\eta_d = (\pi * R^4 * t * \Delta p) / (8 * l * V) = 3,1416 * 0,00075^4 * 815 * 64000 / 8 * 0,105 * 0,00002 = 3,08620 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Затем отключили компрессор, и оставили масло стекать из измерительной емкости в мерный цилиндр. Время стекания 20 мл масла составило 6 часов 1 минуту (21660 с). Постоянная вискозиметра для данной трубки –  $1,62 \cdot 10^{-7}$ .

Рассчитали кинематическую вязкость:

$$\eta_k = 1,62 \cdot 10^{-7} * 21660 = 3508,92 \text{ мм}^2/\text{с (сСт)}.$$

Отсюда плотность:

$$\rho = 3,08620 / (3508,92 * 10^{-6}) = 879,5 \text{ кг/м}^3 \text{ при температуре } -20^\circ\text{C}.$$

Пример 4. Определение цетанового числа дизельного топлива. За основу расчета цетанового числа была взята формула Чуршукова [3]. В данной формуле вязкость и плотность измеряется при  $20^0$ .

$$Ц. Ч. = (v_{20} + 17,4) \cdot \frac{1,5879}{\rho_{20}}$$

Преобразовали формулу Чуршукова при температуре замера вязкости –  $40^\circ\text{C}$  и плотности –  $15^\circ\text{C}$ .

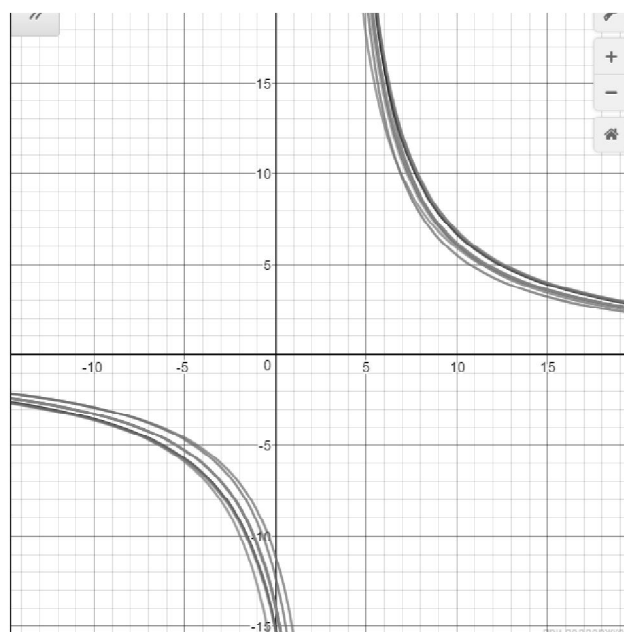
Данные полученные экспериментальным путем в таблице 1.

**Таблица 1 – Экспериментальные данные**

	Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6	Д7	Д8	Д9	Д10
	0,8441	0,851	0,837	0,832	0,833	0,833	0,834	0,833	0,834	0,834
	3,1	3,53	2,49	3,01	3,07	3,07	3,1	3,12	3,11	3,09
	45	46	53	51	51	55,6	51,3	56,6	56,8	51,1

Построены графики (Рисунок 2) с данными, но коэффициенты 17,8 и 1,5879 были взяты как  $x$  и  $y$  соответственно для нахождения общих точек.

где  $x$ ,  $y$  и Ц.Ч. были взяты соответственно номеру данных (Д1..Д10)

**Рисунок 2 – Графики**

Точки пересечения графиков представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Точки пересечения графиков**

	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5	Точка 6	Точка 7	Точка 8	Точка 9	Точка 10
X	6.734	11.337	13.305	16.19	17.775	19.651	-10.679	-6.647	-8.526	-3.823
Y	10.453	5.014	4.102	3.238	2.906	2.585	-3.369	-4.855	-4.027	-6.18

В программе MathCAD были рассчитаны и внесены в таблицу 3 цетановые числа для каждого данных (Д1..Д10) и коэффициентах (Точка1..Точка10).

**Таблица 3 - Цетановые числа**

	Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6	Д7	Д8	Д9	Д10
Ц.Ч. дано	45	46	53	51	51	55.6	51.3	56.3	56.8	51.1
Точка1	45	39.3	53	46.7	45.9	45.9	45.6	45.4	45.4	45.6
Точка2	48.9	46	52.9	50.1	49.7	49.8	49.5	49.4	49.4	49.6
Точка3	49.6	47.1	53	50.7	50.4	50.4	50.1	50.1	50.1	50.4
Точка4	50.2	48.2	53	51.2	51	51	50.8	50.8	50.8	50.9
Точка5	50.5	48.6	53	51.5	51.3	51.3	51.1	51.1	51.1	51.2

Точка6	50.7	49	53	51.6	51.4	51.5	51.3	51.3	51.3	51.3
Точка7	55	56.2	53	55.3	55.6	55.6	55.6	55.8	55.7	55.6
Точка8	56.1	58	53	56.3	56.6	56.6	56.7	56.9	56.8	56.7
Точка9	55.4	57	53	55.8	56	56	56.1	56.3	56.2	56.1
Точка10	50.6	53.4	46.6	50.7	51.1	51.1	51.3	51.5	51.3	51.2

Из таблицы 3 можно сделать вывод, что коэффициенты по Точке 3 более приближены к экспериментальным результатам и формула примет вид.

$$Ц. Ч. = (v_{40} + 13.305) \cdot \frac{4.102}{\rho_{15}}$$

В заключение статьи следует отметить, что разработка портативных автоматизированных приборов для определения качества жидкостей при входном контроле и при использовании топлив, смазочных материалов и др., является актуальной. Она позволяет на ранней стадии выявить и устранить причины изменения показателей качества жидкостей и не допустить выхода из строя техники

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нигматуллин Р.Г., Фиофанов К.Н. Способ и устройство для определения плотности, динамической и кинематической вязкости: патент РФ № 2247357// Б.И. 2016. №3 2. С. 11
2. Праведников А.Н. Методы исследования полимеров. М.: Наука, 1961. 237с.
3. Левина Е.С. и др. Нефтепродукты (справочник) М.: Химия, 1966. 177 с.

УДК 662.754

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА НА ЕГО ГАЗИФИКАЦИЮ INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF PRELIMINARY THERMAL PROCESSING OF WOOD FUEL ON ITS GASIFICATION

**Альбина Леонидовна Тимербаева, Руслан Рушанович Сафин,  
Руслан Ромелевич Хасаншин, Валерий Владимирович Губернаторов  
Albina L. Timerbaeva, Ruslan R. Safin, Ruslan R. Khasanshin, Valeriy V. Gubernatorov**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, Казань  
Kazan national research technology university, Russia, Kazan  
(e-mail: cfaby@mail.ru)*

*Аннотация:* Исследован процесс газификации термически обработанного древесного топлива. Установлено, что с повышением температуры предварительной термической обработки древесного топлива наблюдается увеличение содержания в составе генераторного газа водорода и оксида углерода, что позволяет предположить целесообразность использования термической обработки топлива в процессах газификации при производстве жидких синтетических углеводородов реакцией Фишера-Тропша.

*Annotation:* The process of gasification of thermally treated wood fuel was studied. It has been established that an increase in the content of generating gas hydrogen and carbon monoxide is observed with an increase in the temperature of the preliminary heat treatment of wood fuel, which suggests that it is advisable to use thermal treatment of fuel in gasification processes in the production of liquid synthetic hydrocarbons by the Fischer-Tropsch reaction.

*Ключевые слова:* газификация, термическая обработка, древесное сырье.

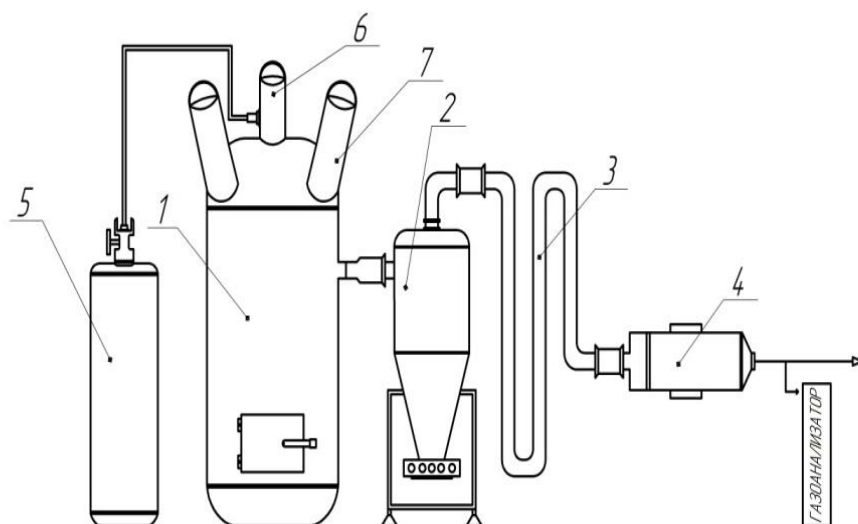
*Keywords:* gasification, heat treatment, raw wood.

Для исследования процесса газификации термически обработанного древесного топлива была создана установка, представленная на рис. 1. Установка включает реактор



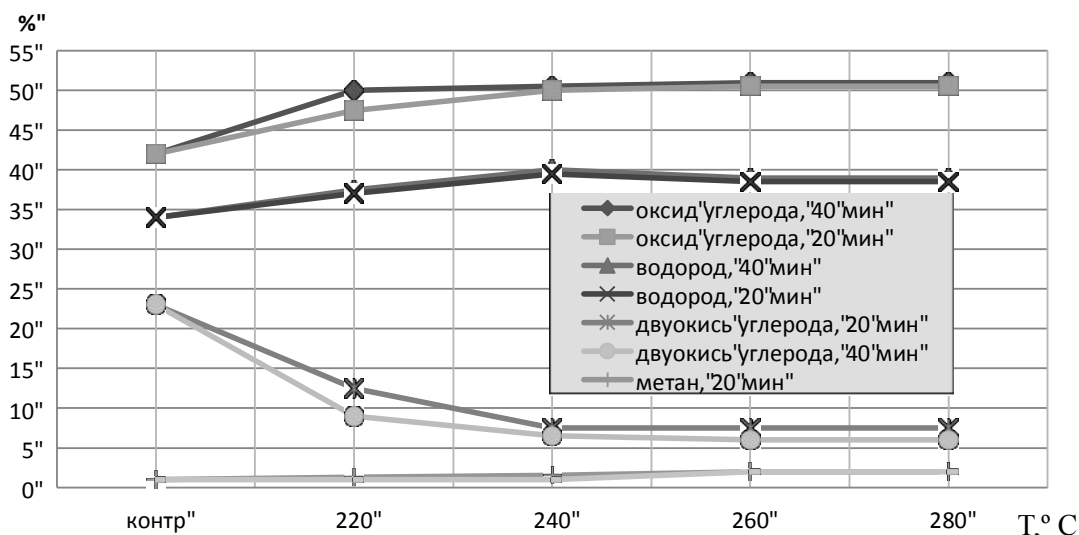
прямоточной газификации древесных отходов 1, циклон для грубой очистки генераторного газа 2, змеевиковый теплообменник 3 – для его охлаждения и рукавный фильтр 4 – для тонкой очистки. К входному отверстию реактора подключается баллон 5 для регулируемой подачи кислорода в зону реакции. Загрузка исследуемого газифицируемого топлива осуществляется в центральный патрубок 6 реактора 1. Боковые патрубки 7 используются для начального розжига исследуемого топлива путем загрузки горящего древесного угля. Отбор продуктов газификации древесного топлива для дальнейшего анализа осуществляется на выходе из фильтра 4 [3].

Результаты исследований состава и относительной теплотворной способности генераторного газа, полученного в результате газификации термически обработанного топлива, представлены на рис. 2 и в таблице 1. Анализ представленных данных свидетельствует, что неконденсируемыми газообразными продуктами были в основном CO, H<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>, содержание CH<sub>4</sub> было незначительным. Термическая обработка снизила количество влаги и кислорода, уменьшило соотношение кислород/углерод, что привело к увеличению содержания H<sub>2</sub> и CO в сингазе по сравнению с газификацией необработанных опилок, соответственно произошло уменьшение содержания CO<sub>2</sub>. Кроме того, наблюдается некоторое снижение содержания H<sub>2</sub> при повышении температуры обработки древесных частиц выше 240 °С в сторону образования CH<sub>4</sub>. Это объясняется тем, что содержание H<sub>2</sub> зависит не только от количества кислорода, но и от содержания водорода в термически обработанном топливе [1-2].



**Рис. 1. Экспериментальная установка для газификации термически обработанного древесного топлива**

Кроме того, следует отметить, что при температурах термической обработки свыше 240 °С время обработки (20 и 40 мин), также как и в случае с теплотой сгорания, практически не оказывает влияния на состав газа, в то время как в результате повышения температуры термической обработки и энергоёмкость газа была заметно улучшена, что также подтверждается увеличением отношения количества тепловой энергии, выделяемой при сжигании генераторного газа из обработанного топлива к количеству тепловой энергии, выделяемой при сжигании самого газифицируемого сырья (табл. 1).



**Рис. 2. Состав синтез-газа, полученного в результате газификации термообработанного древесного топлива**

Однако анализ табл. 1 также показывает, что теплотворная способность генераторного газа из термообработанного древесного топлива по отношению к теплотворной способности необработанного древесного топлива существенно снижается с ростом температуры термической обработки, вследствие потери энергии вместе с удаленными из древесины в процессе торрефикации горючими веществами [4-6]. Поскольку удаление летучих веществ было усилено за счет увеличения температуры термической обработки, то и относительная теплотворная способность генераторного газа снизилась с ростом температуры термической обработки. В то же время газификация обработанного топлива в относительных единицах оказалась выше газификации необработанного топлива (0,80-0,87 в зависимости от температуры обработки против 0,76).

Следует отметить, что наблюдающееся с повышением температуры термической обработки увеличение содержания в составе газа, полученного в результате газификации термически обработанного топлива, водорода и оксида углерода позволяют утверждать, что является целесообразным использование термообработанного топлива в процессах газификации при производстве жидких синтетических углеводородов (масел и топлив) реакцией Фишера-Тропша [7-8]. В связи с этим, дальнейшая работа видится в приложении результатов данных исследований применительно к получению химических продуктов, в частности, в использовании предварительной термической обработки древесного топлива в производстве метанола и диметилового эфира.

**Таблица 1. Относительная теплотворная способность синтез-газа из термообработанного топлива**

Температура обработки, °C	по сравнению с прямым сжиганием термообработанного топлива		по сравнению с прямым сжиганием не термообработанного топлива	
	после 20 мин обработки	после 40 мин обработки	после 20 мин обработки	после 40 мин обработки
220	0,81	0,82	0,74	0,72
240	0,84	0,87	0,72	0,71
260	0,81	0,82	0,67	0,66
280	0,80	0,81	0,51	0,50
Относительная теплотворная способность синтез-газа из торрефицированного топлива по сравнению с прямым сжиганием неторрефицированного топлива			0,76	

Данная работа выполнялась при поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых - докторов наук (МД - 5596.2016.8).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сафин Р.Р., Хасанишин Р.Р., Разумов Е.Ю., Оладышкина Н.А. Термомодифицирование древесины в среде топочных газов // Лесной вестник. 2010. № 4. С. 95-98.
2. Сафин Р.Р., Валеев И.А., Сафин Р.Г. Экспериментальное исследование влияния давления при пиролизе древесины // Вестник Казанского технологического университета. 2004. № 1. С. 256-260.
3. Сафин Р.Р., Зиатдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Воронин А.Е., Садртдинов А.Р., Хисамеева А.Р. Газогенератор для газификации влажного топлива. Патент на полезную модель № 2 453 768. Кл. МПК - F23G 5/027 (2006.01).
4. Сафин Р.Г., Сафин Р.Р., Валеев И.В. Математическое моделирование процесса пиролиза древесины при регулировании давления среды // Вестник Казанского технологического университета. 2005. № 2. С. 168.
5. Шаяхметова А.Х., Сафин Р.Р., Тимербаева А.Л., Зиатдинов Р.Р. Торрефицирование твердых видов биотоплива из древесины и лузги подсолнечника // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 8. С. 138-141.
6. Хасанишин Р.Р., Тимербаева А.Л. Совершенствование технологии производства топливных гранул на основе древесного сырья // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 5. С. 72-74.
7. Сафин Р.Р., Хасанишин Р.Р., Сафин Р.Г. Математическая модель конвективной сушки коллоидных капиллярно-пористых материалов при давлении ниже атмосферного // Вестник Казанского технологического университета. 2005. № 1. С. 266.
8. Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю., Оладышкина Н.А. Энергосберегающая установка для сушки и термической обработки древесины // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 9. С. 542-546.

УДК 662.7: 620.97

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ОСНОВЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ ДЕСТРУКЦИИ БИОМАССЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ APPLICATION PROSPECTS OF AUTONOMOUS POWER PLANTS BASED ON SUPERCRITICAL HYDROTHERMAL DECOMPOSITION OF BIOMASS FOR SOLVING OF REGIONAL PROBLEMS

Алексей Владимирович Артамонов \*, Сергей Васильевич Пашкин \*\*,  
Анатолий Валентинович Федотов \*\*, Юрий Александрович Кожевников\*\*  
Alexey V. Artamonov \*, Sergey V. Pashkin \*\*, Anatoly V. Fedotov\*\*, Yury A. Kozevnikov\*\*

\* ЗАО «Энергохимические технологии», Россия, Москва, Троицк

\* «Energochemical Technologies» JSC, Russia, Moscow, Troitsk

(E-mail: echt-zao@mail.ru)

\*\*«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Россия, Москва

\*\*«Federal Scientific Agro engineering Center VIM», Russia, Moscow

(E-mail: fedotov48@list.ru)

*Аннотация:* Рассмотрены перспективы применения автономных энергоустановок на основе технологии сверхкритической гидротермальной деструкции биомассы с получением горючих газов для решения региональных проблем.

*Abstract:* Applications prospects of autonomous power plants based on supercritical hydrothermal decomposition of biomass with production of combustible gases for solving of regional problems are considered.

*Ключевые слова:* гидротермальная деструкция биомассы, распределённая энергетика.

*Keywords:* hydrothermal destruction of biomass, distributed generation.

С начала XXI века в энергетике с единой энергетической системой (ЕЭС), объединяющей генерацию мощных тепловых, атомных и гидроэлектростанций, обозначился тренд массового строительства источников электроэнергии небольшой мощности, получивших название объектов альтернативной энергетики (АЭ).

Причина тренда АЭ обусловлена растущей стоимостью услуг подключения к ЕЭС на фоне снижения надёжности и качества централизованного энергоснабжения, истощения природных энергоресурсов и необходимости решения экологических проблем.

Развитие АЭ обеспечено массовым предложением конкурентоспособного оборудования для генерации, когенерации или тригенерации с использованием доступных на местах первичных ТЭР (газ, уголь, биомасса), а также созданием энергоустановок, работающих на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) и вторичных тепловых ресурсах (ВТР).

Тенденции в интеграции источников АЭ показывают вероятность развития энергорынка по модели «новая парадигма - рынок мощности», суть которой во влиянии потребителя на потребление и на производство энергии. Согласно модели, технологии «потребления/производства» будут организованы так, что значительная часть производимой энергии будет сохраняться либо использоваться всеми участниками энергорынка [1].

Мир активно развивает АЭ. Суммарная электрическая мощность солнечной генерации в 2012г. превысила ~100 ГВт, а общая установленная мощность ветроэлектрических станций составила ~283 ГВт при впечатляющей динамике роста [2]. В странах ЕС доля Распределенной энергетики (РЭ) составляет ~10% от общего объема производства электроэнергии (в Дании ~ 45%).

В области РЭ Россия сильно отстает от многих стран. Мощность объектов РЭ на 2012г составляла ~ 3,5 ГВт при общей мощности ЕЭС ~ 220 ГВт (доля РЭ~1,6%) [3]. Несмотря на принятые стратегии, основные энергетические компании РФ в настоящий момент не способствуют, а, скорее, тормозят технологическое развитие отрасли, поскольку озабочены проблемой реструктуризации и обновления состояния уже существующих и устаревших энергообъектов, а также выполнением планов строительства новых объектов по старой, привычной для них технологии. Таким образом, строительство будущей энергетики в РФ сдерживается множеством тормозящих факторов, главные из которых – отсутствие адекватной законодательной базы, недоступность кредитов и, как следствие, отсутствие инвестиций.

Анализ перспектив развития РЭ, учитывающий географию ВИЭ и структуру потребления электроэнергии в России даёт однозначный вывод: наиболее перспективна биоэнергетика, использующая возобновляемую биомассу, в том числе отходы ЖКХ, лесного, д/обрабатывающего производства и АПК, отходы и стоки предприятий индустрии продуктов питания и потребительских товаров [4], симбиозные производства биотоплива третьего поколения [5]. Главным и самым доступным направлением биоэнергетики в России является утилизация древесных отходов. Здесь убедителен опыт Швеции (население ~10 млн.чел), где потребности теплоснабжения на 80% удовлетворяются за счет именно этого вида биомассы. Большой интерес представляет утилизация отходов АПК и бытовых (ЖКХ) отходов, потенциал которых в России по сухому веществу составляет более ~260млн.т./год, [4].

Для понимания возможного масштаба в таблице 1 приведены сравнительные оценки потенциала производства тепловой и электрической энергии из возобновляемой биомассы, сведения о количестве которой в разрезе отдельных регионов России взяты из [6] и данных статистического учёта, опубликованных на сайте Минэкономразвития.

**Таблица 1. Оценка потенциала производства электрической и тепловой энергии из биомассы в разрезе отдельных регионов России**

Вид биомассы	Единица измерения	Регионы							
		Амурская область	Белгородская область	Брянская область	Воронежская область	Калужская область	Краснодарский край	Ставропольский край	Ярославская область
Отходы деревопереработки	тыс. т/год	69	16	63	22	37	137	35	33
Отходы АПК и ЖКХ	тыс. т/год	260	1900	748	2525	364	9178	4659	386
В Сумме: деревопереработка+АПК+ЖКХ	тыс. т/год	328	1916	811	2547	401	9315	4693	418
Население в сельской местности	тыс. чел	282	510	372	771	240	2455	1204	232
Удельное кол-во биомассы на 1 чел	тонн/чел	1,2	3,8	2,2	3,3	1,7	3,8	3,9	1,8
Потенциал производства тепла	кВт*ч/чел/мес	255	822	477	723	366	830	852	394
Потенциал производства электроэнергии	кВт*ч/чел/мес	121	391	227	344	174	395	406	188

Нижние строки таблицы показывают, что каждый из регионов при использовании потенциала возобновляемых биоресурсов способен обеспечить население сельской местности более чем достаточным для комфортного проживания количеством тепловой и электрической энергии.

Несомненно, что инвестиционная поддержка создания объектов РЭ в виде автономных энергетических комплексов (АЭК) на основе биоэнергетических технологий в России была бы способна обеспечить программу осуществления концепции, которую можно было бы назвать «Региональные месторождения ТЭР в каждом регионе». При исполнении АЭК на современном технологическом уровне реализация подобной концепции может дать следующие результаты:

– снизить или исключить зависимость регионов по энергоресурсам от поставщиков ТЭК,

– за счёт когенерации, тригенерации и близкого размещения АЭК и потребителей энергии (минимум транспортных издержек), обеспечить приемлемую рентабельность децентрализованного энергоснабжения, снизить себестоимость и поднять

конкурентоспособность региональной продукции,

- улучшить состояние энергетической и экологической безопасности регионов,
- повысить эффективность использования местных бюджетных и материальных ресурсов,

– улучшить региональный торговый баланс и наполняемость бюджета,

– создать новые рабочие места и более комфортные условия жизни,

– стране в целом стать поставщиком современных технологий, перестав быть лишь продавцом сырьевых ресурсов, что улучшит её имидж и авторитет на мировом рынке.

Авторы имеют значительный научно-технический задел в исследованиях сверхкритической гидротермальной деструкции биомассы (СКГД) в автотермическом и аллотермическом режимах с получением высокоэнтальпийной парогазовой смеси и горючих газовых смесей, дающий основу для осуществления сформулированной выше концепции.

Экспериментально показано, что процесс СКГД обеспечивает газификацию биомассы с высоким содержанием горючих компонентов ( $H_2$ ,  $CH_4$  и  $CO$ ), дающих низшую теплоту сгорания в диапазоне  $\sim 4 \div 15$  МДж/м<sup>3</sup>, допускающую использование такого газа в качестве топлива микротурбинных и поршневых двигателей.

Условия СКГД - процесса ( $P \geq 25$  МПа и  $T \geq 550$  К) способствуют возрастанию доли водорода и метана, и снижению смолообразования, обычно наблюдаемого при более мягких режимах пиролиза биомассы, являющегося нежелательным процессом. Отсутствие смолообразования является преимуществом процесса СКГД по отношению к другим известным процессам пиролиза жидкой или твёрдой биомассы.

Естественно, что относительный выход и состав газов зависит от вида биомассы и условий процесса. Поэтому, в каждом конкретном случае для выполнения ТЭО и проработки алгоритма управления АЭК ставится задача анализа источников сырья и выполнения уточняющей экспериментальной программы в масштабе пилотной установки.

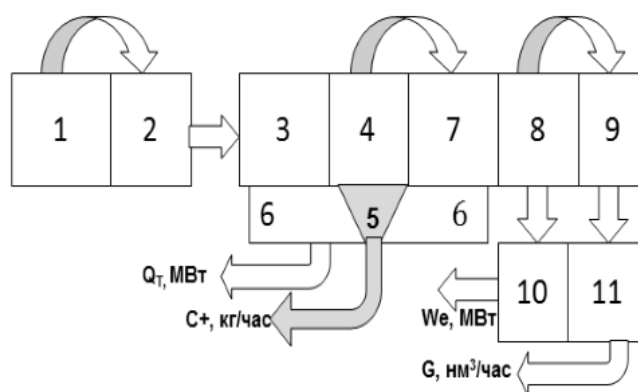
Для грубой оценки параметров допустимо применение значения удельного выхода на уровне 350-450 кВт\*ч в расчете на расход готовой рабочей смеси с 10% содержанием сухого вещества биомассы в объёме  $\sim 1$  м<sup>3</sup>/час. Использовать расчётную модель процесса на данном этапе невозможно ввиду сложного и недостаточно изученного физико-химического механизма гидротермальной деструкции. Поэтому, задача создания расчётной модели СКГД - процесса представляется актуальной и может быть предложена в качестве предмета специальной программы исследований.

Блок схема, предлагаемая нами в качестве объекта разработки и испытания в масштабе опытно-промышленного образца АЭК, представлена на рис. 1.

Назначение элементов поясняют приведённые на блок-схеме подписи.

Надёжность и эффективность работы и обслуживания «умного» АЭК будет обеспечиваться применением технологии промышленного интернета с IT – сервисом, как показано на рис. 2.

Предусматривается мониторинг работы АЭК, учет и контроль оборота ресурсов и расчётных операций через защищённый облачный сервис. Развитие подобных сервисов сегодня «на острие» движения к будущему, так как обеспечивает постоянный контроль состояния и безопасности основного технологического процесса, прозрачность отношений с участниками рынка, что важно для устойчивости бизнеса и для ненавязчивого исполнения функций государственного регулирования и контроля в налоговой сфере.



**Основные модули блок-схемы АЭК:**

1. Блок подготовки и гомогенизации биомассы
2. Насос высокого давления
3. СКГД-реактор
4. Сепаратор твердой фазы
5. Бункер твёрдой фазы
6. Рекуперативный теплообменник
7. Блок подготовки газа
8. Блок очистки газа
9. Компрессор газовый

10. Блок основных и резервных генераторов электрической мощности
11. Газовый энергонакопитель (газобаллонная рампа с топливным газом высокого давления)

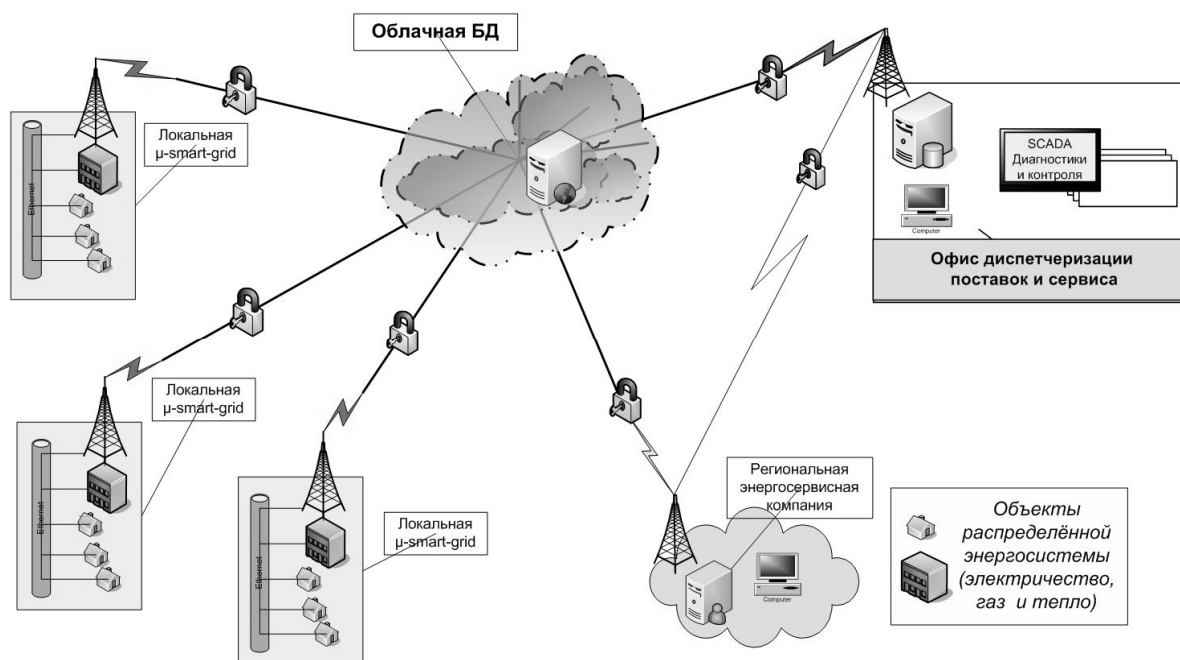
**Основные потоки энергоресурсов:**

- $Q_T$  - Тепловая энергия в отопительную систему  
 $W_e$  - Электрическая мощность Потребителям

**Материальные потоки:**

- $C+$  – Выход твердого остатка (Кокс + соли)  
 $G$  – Горючий газ в сеть и на пиковую генерацию

**Рис. 1. Блок-схема автономного энергетического комплекса на основе гидротермальной деструкции органических отходов**



**Рис. 2. Схема мониторинга и сервиса АЭК через облако**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по Соглашению о предоставлении субсидии №14.607.21.0126 от 27 октября 2015 г. Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI60715X0126.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Княгинин В.Н. Энергетический форсайт //2010. Презентация Фонда ЦСР «Северо-Запад».
2. Кулешов М.А. Отражение мировых тенденций в Российской энергетике // Презентация. IX Форума энерготрейдеров России. М., 2014.
3. Лапин А.В. Проблемы энергетической безопасности в условиях интенсивного развития распределенной энергетики. Презентация. // М. ВВЦ, 20.05.2014.
4. Панихава Е.С. Биоэнергетика. Мир и Россия. Биогаз: Теория и практика. /М.:, Издательство «Русайнс», 2015.972 с.
5. Кожевников Ю. А. и др. Сравнительная оценка энергоэффективности получения биотоплива третьего поколения термохимическим методом. // Вестник ВИЭСХ, 2016, №1(22), с.126-131.
6. Биоэнергетика России в XXI веке // 2012. <http://www.biogas-rcb.ru>.

УДК 541.183

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ МЕТАНА USING CARBON FIBER SORBENTS FOR ACCUMULATED METHANE

**Валентин Владимирович Сафонов\***, **Анна Евгеньевна Третьякова\***,  
**Анатолий Алексеевич Фомкин\*\***, **Сергей Викторович Сапожников\***  
**Valentin V. Safonov\***, **Anna E. Tretyakova\***,  
**Anatoly A. Fomkin\*\***, **Sergey V. Sapozhnikov\***

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

*\*The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow  
(e-mail: svv@staff.msta.ac.ru)*

*\*\*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии  
наук, Россия, Москва*

*\*\*Institute of physical chemistry and electrochemistry of A. N. Frumkin of the Russian Academy of  
Sciences, Russia, Moscow  
(e-mail: fomkinaa@mail.ru)*

*Аннотация:* Исследована адсорбция метана на углеродном волокнистом сорбенте С-300 в интервалах давлений от 1 до 55 МПа и температур от 303 до 333 К. По изотермам адсорбции в тех же интервалах давлений и температур рассчитаны изостеры адсорбции метана. По изостерам адсорбции построены зависимости дифференциальных мольных изостерических теплот адсорбции.

*Abstract:* The adsorption of methane on the carbon fiber sorbent C-300 in the pressure ranges from 1 MPa to 55 MPa and temperatures from 303 to 333 K. Adsorption isotherms in the same ranges of pressures and temperatures calculated isomers of methane adsorption. The isosteric adsorption isotherms are used to plot the differential molar isosteric adsorption heats.

*Ключевые слова:* аккумулярование метана, углеродные волокнистые сорбенты, изотермы и изостеры адсорбции, термодинамика адсорбции

*Keywords:* accumulation of methane, carbon fiber sorbents, isotherms and isosteres of adsorption, adsorption thermodynamics.



Применение таких известных технологий транспортировки природного газа метана как трубопроводного при давлениях до 10 МПа, перевозки сжиженного природного газа (КПГ) в баллонных системах, а также в сжиженном состоянии (СПГ) при температуре – 164°С в системах хранения зачастую невыгодно для обеспечения удаленных и труднодоступных районов. Наиболее выгодно хранить и транспортировать природный газ в специальных системах хранения. Перспективными представляются адсорбционные системы хранения. За последние годы количество научных исследований в области адсорбционного аккумулирования природного газа - метана (АПГ) резко увеличилось. Возросший интерес объясняется успехами в синтезе новых специальных адсорбентов, превосходящих существующие промышленные адсорбенты по количеству аккумулируемого газа на 35 - 50 % [1]. Технология АПГ, основанная на использовании специальных адсорбентов, приобретает конкурентоспособность по сравнению с системами СПГ и КПГ.

Системы с АПГ по количеству аккумулируемого газа близки к системам КПГ, к тому же они функционируют в области более низких давлений. Метан при этом находится в высокодиспергированном состоянии, что значительно снижает энергозатраты и повышает их взрыво- и пожаробезопасность. Заправка при пониженных давлениях позволяет уменьшить затраты энергии на сжатие газа. В случае КПГ количество метана в данных условиях было бы в 5 раз меньше.

Под адсорбционной системой аккумулирования подразумевают систему хранения (емкость), заполненную пористым материалом (сорбентом). Свойства адсорбента определяют эффективность работы систем с адсорбированным природным газом. К материалам-аккумуляторам метана предъявляют следующие требования: технические (стойкость к нагрузкам, твердость, гидрофобность и низкая способность к истиранию), адсорбционные (теплота адсорбции, емкость и насыпная плотность), а также экономические (энергоемкость и стоимость). Наилучшим образом всем этим требованиям отвечают микропористые углеродные адсорбенты.

Микропористые углеродные адсорбенты обладают высокими сорбционными характеристиками, высокой прочностью, а также температурной стабильностью. Они обладают целым рядом особенностей, которые обусловлены характером их пористой структуры и поверхности. Адсорбция на пористых материалах определяется дисперсионными силами взаимодействия, возникающими в микропорах [2].

Волокнистые углеродные сорбенты относятся к наиболее перспективным материалам технического назначения. Их широкая область применения обусловлена многообразием физико-механических и адсорбционных свойств, высокой механической прочностью, а также высокоразвитой пористой структурой. Пористые волокнистые материалы (сорбенты) выпускаются в виде тканей различной текстильной структуры, а также нетканых материалов. По скорости сорбции и десорбции волокнистые сорбенты в большинстве случаев превосходят активные угли в 20-100 раз. Они устойчивы к действию различных агрессивных и инертных сред (выдерживают температуру в окислительной среде до 200 °С, а в инертной - до 1000 °С). Главное преимущество волокнистых сорбентов перед гранулированными и порошкообразными адсорбентами в том, что значительная часть их пор находится на поверхности моноволокна.

В качестве сорбента выбран пористый волокнистый материал с маркировкой С-300, который получен на основе полимерных волокон из вискозы. Данный сорбент обладает целым рядом преимуществ по сравнению с гранулированными и порошкообразными сорбентами: высокой адсорбционной активностью, повышенной кинетикой сорбции, а также отсутствием пыления.

Применение пористых волокнистых материалов для аккумулирования метана приводит к необходимости и актуальности исследования фундаментальных закономерностей адсорбции.

Для теоретического анализа общих закономерностей адсорбции метана на углеродном волокнистом сорбенте использовали ТОЗМ М.М. Дубинина, позволяющую проводить анализ

адсорбции в широком интервале температур и давлений, а также термическое уравнение Дубинина-Радушкевича.

При расчете дифференциальной мольной работы адсорбции при температурах кипения  $T_{\text{кип}}$  и критической  $T_{\text{кр}}$  используют такие параметры как фугитивность и давление насыщенных паров.

Дифференциальная мольная работа адсорбции рассчитывалась по уравнению (1):

$$A = R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{f_s}{f}\right), \quad (1)$$

Адсорбция рассчитывалась по уравнению (2):

$$a = W_o \cdot \rho_a \cdot \exp\left(-\left(\frac{R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{f_s}{f}\right)}{\beta \cdot E_o}\right)^2\right), \quad (2)$$

где  $W_o$  - удельный объем микропор,  $\text{см}^3/\text{г}$ ;  $\rho_a$  - предельная плотность адсорбата при температуре  $T$ ,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  $E_o$  - характеристическая энергия адсорбции бензола (стандартного пара),  $\text{кДж}/\text{моль}$ ;  $\beta$  - коэффициент подобия для метана относительно бензола;  $R$  - универсальная газовая постоянная,  $\text{кДж}/\text{моль} \cdot \text{К}$ ;  $T$  - температура,  $\text{К}$ ;  $f_s$  - летучесть насыщенного пара;  $f$  - летучесть равновесного адсорбтива (метана) [3].

По своей структуре уравнение (2) позволяет рассчитывать адсорбцию при температурах ниже критической. Критическая температура для метана составляет 190,55 К [4]. Поэтому в расчетах адсорбции метана в интервале температур от 303 до 333 К дополнительно использовали условие линейности изостер адсорбции, которое хорошо выполняется в широких интервалах давлений и температур при адсорбции газов в углеродных микропористых адсорбентах [5].

Полученные в результате расчетов изотермы адсорбции на углеродном волокнистом сорбенте С-300 имеют классическую экспоненциальную форму, что подтверждает теоретические положения о том, что с ростом температуры адсорбция уменьшается.

На основе результатов проведенного исследования можно сделать вывод, что линейность изостер адсорбции является универсальным свойством адсорбционной системы «Метан - С-300» в широких интервалах давлений и температур. В исследуемом интервале температур изостеры адсорбции остаются линейными.

Дифференциальная мольная изостерическая теплота адсорбции  $q_{st}$  зависит от таких параметров адсорбционной системы как давление, адсорбция и температура. Уменьшение теплоты адсорбции на начальном участке свидетельствует о том, что поверхность углеродного волокнистого сорбента С-300 неоднородна, т.е. молекулы метана постепенно заполняют высокоэнергетические адсорбционные центры. С ростом заполнения пор главным фактором становится межмолекулярное взаимодействие между адсорбированными молекулами метана, которое приводит к менее интенсивному уменьшению дифференциальной теплоты адсорбции за счет энергии притяжения, а затем к отталкиванию.

Увеличение удельного объема микропор сорбента способствует увеличению адсорбции метана и ширины микропор, но приводит к уменьшению энергии адсорбции.

Показатели относительной эффективности адсорбционной системы «Метан - С-300» становятся близкими, слабо зависящими от температуры в области давлений 7 - 40 МПа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Prajwal B.P., Ayappa K.G. // Adsorption. 2014. V. 20. P. 769.
2. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. М.: Химия, 1976. 512 с.
3. Дубинин М.М. Адсорбция и пористость. М.: ВАХЗ, 1972. 127 с.
4. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. 720 с.

5. *Fomkin A.A.* Adsorption of gases, vapors and liquids by microporous adsorbents// Adsorption. 2005. V.11. № 3 / 4. P. 425-436.

УДК 628

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМЕ  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ Г. ТЮМЕНИ  
POSSIBILITY OF APPLICATION OF HEAT PUMPS IN THE HEAT SUPPLY SYSTEM  
OF TYUMEN**

**Олег Андреевич Степанов, Полина Александровна Третьякова  
Oleg A. Stepanov, Polina A. Tretyakova**

*Тюменский индустриальный университет, Россия, Тюмень  
Tyumen Industrial University, Russia, Tyumen  
(e-mail: kpt@mail.ru)*

*Аннотация:* Рассмотрена проблема теплоснабжения г. Тюмени, приведена система теплоснабжения с применением тепловых насосов позволяющая решить данную проблему, выполнена экономическая оценка применения системы теплоснабжения утилизирующей низкопотенциальное тепло ТЭЦ-1 для теплоснабжения района Дома обороны и Затюмского района г. Тюмени.

*Abstract:* The problem of heat supply in Tyumen is considered, the heat supply system with the use of heat pumps is given that allows to solve this problem, the economic evaluation of the heat supply system utilizing the low-potential heat of CHP-1 for heat supply of the district of the House of Defense and Zatyumsky district of Tyumen is carried out.

*Ключевые слова:* тепловые насосы, система теплоснабжения, энергосбережение.

*Keywords:* a heat pumps, the heat supply system, energy saving.

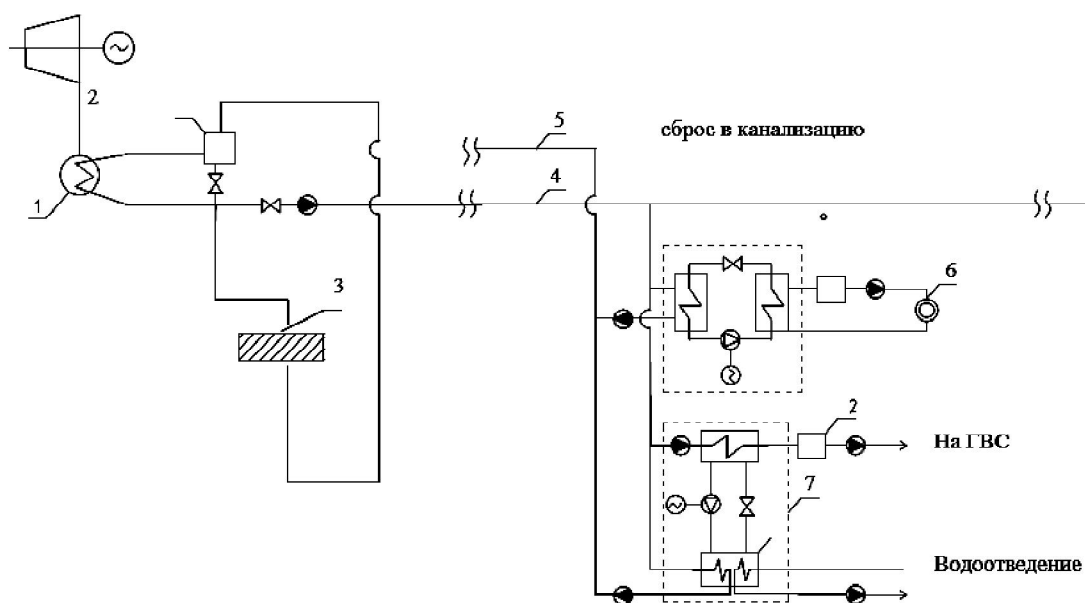
В настоящее время для России в условиях существующей экономической ситуации приоритетным направлением является разработка энергосберегающих мероприятий и проведение политики государством в соответствии с нормативными документами: указам президента РФ от 4 июня 2008 г. N 889 "О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики", постановлением правительства РФ № 1715-р от 13.11.2009 г. «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года».

Высокий потенциал энергосбережения имеется в том числе и в сфере теплоснабжения. Ежегодно в Российской Федерации потребляется свыше 8 млрд. ГДж тепловой энергии, причем 72 % из них это системы централизованного теплоснабжения [1]. Поставщиками тепловой энергии в основном является ТЭЦ, где одновременно осуществляется производство электрической и тепловой энергии. По мере роста населения в городах происходит развитие тепловых сетей и оказывается, что у удаленных потребителей температура сетевой воды ниже, чем требуется по нормативу. В этом случае необходимо увеличить тепловой потенциал (осуществить подогрев, наиболее перспективным способом является применение тепловых насосов, использующих низко потенциальное тепло из различных источников: обратного трубопровода, канализации и т.д [2,3]. Следовательно разработка мероприятий для использования низко потенциального тепла является актуальным и практически значимым направлением исследования.

Система теплоснабжения Тюмени сегодня устроена так: более 90% тепловой энергии генерируют две ТЭЦ, входящие в ОАО «Фортум», еще около 7% тепла дают муниципальные котельные, остальное — ведомственные. Магистральные тепловые сети в зоне ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 принадлежат и эксплуатируются УТСК. Арендует и эксплуатирует муниципальные котельные и разводящие тепловые сети в Тюмени и Тобольске компания ОАО «Тепло Тюмени.

Одна из самых острых проблем ЖКХ Тюмени — качество теплоснабжения в районах Дома обороны и Затюменки. Мощности существующих ТЭЦ более чем достаточно для развития Тюмени на много лет вперед. Но рассматриваемый район удален и находится вне радиуса эффективного действия существующих теплоцентралей.

С позиции энергосбережения для решения данной проблемы нами рекомендовано использование теплонасосных установок. Принципиальная схема возможной системы теплоснабжения приведена на рисунке 1. От ТЭЦ передается только низкопотенциальный теплоноситель (тепловую мощность охлаждающей воды вакуумно-конденсационной системы) в ЦТП.



**Рис. 1. Система теплоснабжения с использованием тепловых насосов.**

Каждый удаленный тепловой пункт содержит теплонасосную установку системы отопления, теплонасосную установку системы ГВС, бак-аккумулятор горячей воды системы ГВС, бак-аккумулятор горячей воды системы отопления. Возможно использование тепла сточных вод для нагрева воды на нужды ГВС, а использование теплоносителя от ТЭЦ только в пиковый режим.

Исходная вода или охлаждающего водоема 3 подается по трубопроводу и добавляется в бак запаса воды 2. Сетевая вода из бака запаса воды 2 нагревается в конденсаторе паровой турбины 1 и транспортируется по сетевому трубопроводу 4 до удаленных тепловых пунктов, оборудованных компрессионными тепловыми насосами, а невостребованная вода сбрасывается обратно.

Необходимо строительство тепловых пунктов с теплонасосными установками суммарной мощностью 250 Гкал/час на нужды отопления и 48 Гкал/час на Горячее водоснабжение [4].

В результате применение данной схемы г. Тюмень разобьется на три зоны (рис. 2). От ТТЭЦ-1 предполагается проложить магистральный трубопровод для передачи низкопотенциального тепла, в виде воды системы охлаждения турбин, который в настоящее время сбрасывается в р. Тура.



**Рис. 2. Зоны действия централизованных систем теплоснабжения.**

Технико-экономические показатели применения системы теплоснабжения с ТНУ существенно зависят от расхода и стоимости электроэнергии и капитальных затрат на систему теплоснабжения. Затраты электроэнергии уменьшаются при снижении скорости теплоносителя в магистральном трубопроводе, а капитальные затраты в систему теплоснабжения возрастают, так как увеличивается диаметр трубопровода. Чистая дисконтированная прибыль зависит от следующих параметров:

$$NPV = f(l_{mp}, d_{mp}, q_n) \quad (1)$$

где:  $l_{mp}$  - длины трубопровода (удаленности потребителей), м;

$d_{mp}$  - диаметра трубопровода, м;

$q_n$  - тепловой нагрузки группы потребителей, Гкал/час.

Выполним расчет чистого дисконтированного дохода и срока окупаемости по методике представленной в [5].

Исходные данные представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Исходные данные для расчета**

Параметры	Значение	
Температура воды в подающем трубопроводе	25	<sup>0</sup> С
Температура воды в обратном трубопроводе	2	<sup>0</sup> С
Диаметр трубопровода наружный	1200	мм
Толщина стенки	46	мм
Длина трассы	8 600,00	м
Плотность	995,7	кг/м <sup>3</sup>
КПД насоса	0,8	
КПД передачи	0,85	
Отопительная нагрузка	250	Гкал/час
Нагрузка на ГВС	48	Гкал/час
Температура грунта на глубине заложения трубопровода	1	<sup>0</sup> С
Цена электроэнергии	1,81	Руб./кВтчас
Цена 1 п/м трубы	1108,2	Руб.

В результате расчета показателей экономической эффективности теплонасосной системы отопления получены следующие данные:

**Таблица 2. Экономические показатели предлагаемой системы теплоснабжения**

Показатель	Значение	Единицы измерения
Стоимость тепловых насосов	346 677, 149	тыс. руб.
Стоимость монтажа ЦТП	17 333, 857	тыс. руб.
Стоимость прокладки магистрального трубопровода	51 600, 000	тыс. руб.
Стоимость одного метра трубы выбранного диаметра	18, 652	тыс. руб.
Капиталовложения в магистральный трубопровод	320 814, 400	тыс. руб.
Стоимость системы автоматизации тепловых пунктов	97 040, 720	тыс. руб.
Стоимость бака-аккумулятора	13 867, 085	тыс. руб.
Итого капиталовложения	847 333, 212	тыс. руб.
Годовые издержки по оплате сырья, материалов, комплектующих и других основных предметов труда в производственном процессе	526 179, 523	тыс. руб.
Затраты электроэнергии на привод компрессора тепловыми насосами за год	284 165, 851	тыс. кВт час
Годовая потребность в электроэнергии на транспорт теплоносителя	6 541, 067	тыс. кВт
Стоимость электроэнергии	1,81	руб./кВт час
Годовые издержки по заработной плате основного промышленно-производственного персонала	2 495, 333	тыс. руб.
Годовые амортизационные отчисления на реновацию основных производственных фондов	42 366, 661	тыс. руб.
Годовые затраты на ремонт основных производственных фондов	12 709, 998	тыс. руб.
Число ТНУ	139	
Годовые издержки на приобретение вспомогательных материалов для производства	282, 554	тыс. руб.
Прочие годовые издержки (непроизводственного характера)	58 403, 407	тыс. руб.
Издержки производства ИТОГО	642 437, 477	тыс. руб.
Потребляемая тепловая энергия	831 832	Гкал/год
Себестоимость производства и транспорта до ЦТП тепловой энергии с помощью тепловых насосов	772	руб/Гкал
Стоимость тепла от котельной	960,00	руб/Гкал
Экономия	167 263, 712	тыс. руб.
Коэффициент дисконтирования	6,26	
Чистый дисконтированный доход	199 625, 810	тыс. руб.
Суммарные дисконтированные затраты	79 681 507, 470	тыс. руб.
Временной период	20	
Индекс прибыльности (PI)	0,2356	
Дисконтированный срок окупаемости (DPP)	7,244	

ВНИПИэнергопром проработал три варианта решения рассматриваемой проблемы, рассмотрим недостатки предлагаемых решений и сравним с системой теплоснабжения на базе ТНУ.

**Таблица 3. Сравнение предлагаемых решений проблемы теплоснабжения г. Тюмень**

Описание	Недостатки	Затраты
Предполагается сохранение существующих зон ТЭЦ, реконструкцию теплосетей и строительство новых магистралей и насосных станций.	Серьезные капитальные затраты и операционные затраты на транспортировку теплоносителя.	1,42 млрд рублей
Строительство третьего источника — газотурбинной ТЭЦ-3 в северо-западной части города	Новая ТЭЦ при производстве тепла будет вырабатывать электроэнергию, а в регионе и без того ее профицит.	3,55 млрд. рублей
Базируется на повышении эффективности использования имеющихся генерирующих мощностей, а для этого предлагает строительство в контуре ТЭЦ-2 западного теплового комплекса (ЗТК). Этот комплекс состоит из нескольких цехов: повысительно-насосного, цеха электрогенерации на собственные нужды с утилизацией тепла в сетевую воду, и в перспективе, выходящей за границы схемы теплоснабжения, котельного цеха.	Дом обороны и Затюменский район находятся вне зоны эффективности ТЭЦ за счет высоких потерь на транспорт теплоносителя и тепловых потерь по трассе. Котельная не является эффективным источником тепловой энергии.	Стоимость проекта ЗТК — 0,64 млрд рублей до 2021 года, еще 1,43 миллиарда составят затраты на поддержание источников ТЭЦ-1, ТЭЦ-2.
Применение системы теплоснабжения с ТНУ. От ТЭЦ 1 до района дома обороны доставляется низко потенциалный теплоноситель, а выработка тепловой энергии осуществляется в тепловых насосах расположенных в ЦТП	В настоящее время данная система теплоснабжения не применяется и не проверена на практике	0,85 млрд. руб.

В заключение статьи следует отметить, что предложенная система теплоснабжения позволяет решить проблему теплоснабжения Дома обороны и Затюменского района г. Тюмени, причем имеет относительно низкие затраты на строительство источника тепла (0,85 млрд рублей). Годовая потребность в электроэнергии на транспорт теплоносителя и привод компрессоров ТНУ составит 6 541, 067 и 284 165, 851 тыс. кВт, но за счет профицита электроэнергии в Тюменской области и возможности выработки тепла в ночное время строительство источников электроэнергии не требуется.

Себестоимость производства и транспорта до ЦТП тепловой энергии с помощью тепловых насосов составляет 772 руб/Гкал. При стоимости тепла от котельной 960,00 руб/Гкал экономия составит 167 263, 712 тыс. руб.

При этом чистый дисконтированный доход составит 199 625, 810 тыс. руб., а суммарные дисконтированные затраты 79 681 507, 470 тыс. руб., индекс прибыльности 0,24, дисконтированный срок окупаемости порядка 7 лет.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Филипов С.П. Развитие централизованного теплоснабжения в России // Теплоэнергетика. 2009. № 12. С. 2.

2. Третьякова П.А. Современные подходы к модернизации централизованного теплоснабжения на основе внедрения теплонасосных установок // Омский научный вестник. 2014. № 2(130). С. 178-181.

3. Богданов А. Б. Применение тепловых насосов в «большой» энергетике//Эффективность систем жизнеобеспечения города: материалы X Всерос. науч.-практ. конф. (25-26 ноября). 2009. № 4. С. 20-23.

4. Теплоснабжение Тюмени // 2017. <http://www.ytck.ru/info-for-consumers/azbuka-teplosnabzheniya/kak-ustroeno-teplosnabzhenie-tyumeni/>

5. Степанов О.А., Третьякова П. А., Аксенов Б. Г., Шановал А. Ф. Централизованная система теплоснабжения с тепловыми насосами // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. № 4. С. 113-119.

УДК 62-626.42

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ГАЗОГЕНЕРАТОРА С ФОРСАЖНЫМ И  
АККУМУЛЯТОРНЫМ КОНТУРАМИ  
DEVELOPMENT OF GAS GENERATOR DESIGN WITH AFTERBURNING AND  
ACCUMULATOR CIRCUITS**

**Александр Леонидович Бирюков, Роман Анатольевич Шушков  
Aleksandr L. Biryukov, Roman A. Shushkov**

*Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина,  
Россия, Вологда  
Vologda state dairy farming Academy after N. V. Vereshchagin, Russia, Vologda  
(e-mail: biryukov\_alex@mail.ru)*

*Аннотация:* Предложен и обоснован вариант конструкции газогенератора с форсажным и аккумуляторным контурами, позволяющий уменьшить время отклика газогенератора на резкое возрастание нагрузки на двигатель внутреннего сгорания, входящий в состав электрогенераторной установки.

*Abstract:* The design of the gas generator with afterburner and accumulator circuits to reduce the response time of the gas generator to a sharp increase in the load on the internal combustion engine, as a part of electric generating unit is proposed and substantiated.

*Ключевые слова:* газогенератор, конструкция, время отклика системы.

*Keywords:* gas generator, design, system response time.

В условиях мирового энергетического кризиса и увеличения количества автомобильного транспорта возникает вопрос о необходимости снижения доли потребления нефтяного топлива и одновременного улучшения эксплуатационных и экологических показателей энергетических установок [1-4]. В настоящее время невозможно изолированно рассматривать мощность энергетической установки, например двигателя внутреннего сгорания работающего в составе электростанции, ее экономичность и снижение выбросов вредных веществ в атмосферу, необходимо комплексное решение указанных задач, в связи с чем актуальный характер приобретает переход на альтернативные виды топлива [1,3-9]. Исследуются различные варианты альтернативных видов топлива, к которым относятся природный газ, сжиженные углеводородные газы, спирты, биотоплива, диметиловый эфир, водород [1-9]. Одним из перспективных, на наш взгляд, топлив является генераторный газ, производство которого, как правило, связано с одновременной утилизацией отходов сельского и лесного хозяйств [6,10-13].

Проведенный нами обзор литературных источников [1-11] подтверждает актуальность выбранного направления и наличие аналогичных предлагаемой нами конструкций газогенераторных установок.

Процесс газификации в газогенераторах растянут по времени, то есть имеет высокую инерционность. Нагрузка на электрогенератор при этом может изменяться в широких



пределах и достаточно резко. Соответственно одним из требований, которые необходимо учитывать при разработке современных конструкций газогенераторов является низкое значение времени отклика газогенератора на повышающуюся нагрузку на двигатель внутреннего сгорания, работающий в составе электрогенераторной станции, т.е. оперативное, плавное и быстрое изменение производительности газогенератора.

Среди аналогов предлагаемой конструкции можно выделить основные устройства, которые наиболее близки по технической сущности к разрабатываемому нами.

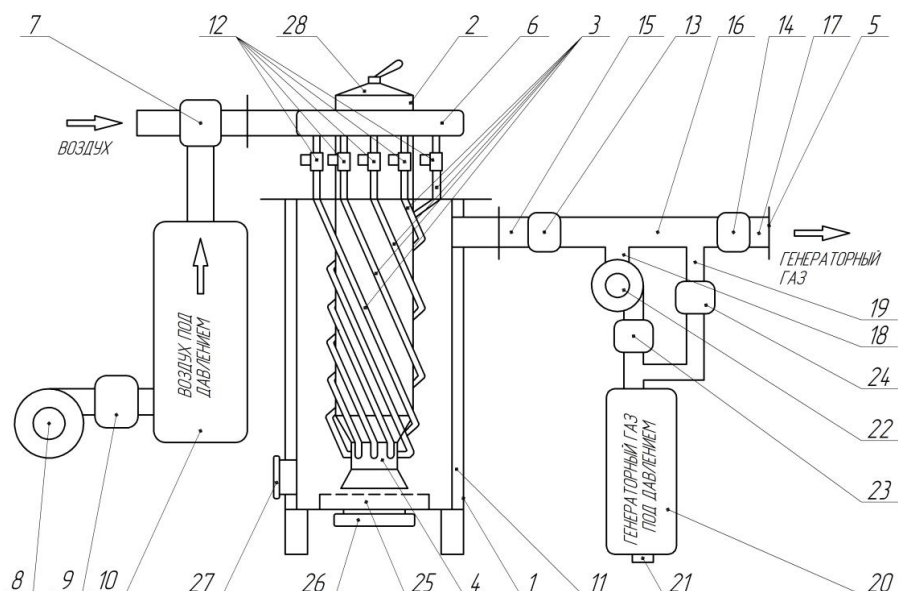
Например, известен газогенератор [10], который содержит вертикально расположенную цилиндрическую камеру газификации, канал отвода газа, камера газификации помещена в термоизоляционный футляр. Однако, недостатком такой конструкции является невозможность регулирования производительности газогенератора в соответствии с рабочими режимами двигателя внутреннего сгорания и высокое значение времени отклика газогенератора на резкое возрастание нагрузки на двигатель внутреннего сгорания.

Второй известный из анализа литературных источников аналог предлагаемого нами газогенератора [11], также содержит вертикально расположенный корпус, индивидуальные дутьевые каналы с фурмами на конце, расположенными в зоне фурменного пояса, канал отвода газа, воздушный коллектор, имеющий на конце трехходовой электромагнитный клапан, соединенный с форсажным воздушным контуром, камеру газификации, которая вместе с дутьевыми каналами помещена в термоизоляционный футляр. Его основным недостатком является скачкообразное изменение производительности газогенератора из-за регулирования ее путем полного закрытия или открытия отдельных электромагнитных клапанов, расположенных на индивидуальных дутьевых каналах, и, вследствие этого, неточное соответствие производительности газогенератора рабочим режимам двигателя внутреннего сгорания во всем диапазоне нагрузочных и скоростных характеристик. Кроме того, при резком возрастании нагрузки давление в данной конструкции за счет применения форсажного воздушного контура повышается только на впуске в газогенератор и из-за инерционности распространения волн давления в сторону впускного коллектора двигателя внутреннего сгорания подача дополнительного количества генераторного газа осуществляется с некоторой задержкой, поэтому такой вариант конструкции позволяет лишь незначительно повысить приемистость двигателя внутреннего сгорания.

Еще одним наиболее близким вариантом конструкции газогенератора является вариант известный из [12]. Такой газогенератор содержит вертикально расположенный корпус, индивидуальные дутьевые каналы с фурмами на конце, расположенными в зоне фурменного пояса, канал отвода газа, воздушный коллектор, имеющий на конце трехходовой электромагнитный клапан, соединенный с форсажным воздушным контуром, камеру газификации, которая вместе с дутьевыми каналами помещена в термоизоляционный футляр. Его недостатки аналогичны предыдущему варианту конструкции газогенератора [11], рассмотренному выше, но он позволяет более плавно регулировать производительность по генераторному газу.

Таким образом, одним из основных недостатков существующих газогенераторов является высокая инерционность повышения производительности газогенератора или, другими словами, высокое значение времени отклика газогенератора на резкое возрастание нагрузки на двигатель внутреннего сгорания, что ведет к низкой приемистости и возможности полной остановки двигателя внутреннего сгорания.

Устройство газогенератора представлено на рисунке 1. Предлагаемая конструкция позволяет снизить инерционность повышения производительности газогенератора при резком возрастании нагрузки на двигатель внутреннего сгорания [13].



**Рисунок 1 – Схема газогенератора с форсажным и аккумуляторным контурами**

Предлагаемый газогенератор состоит из вертикально расположенного корпуса 1 с камерой газификации 2, индивидуальных дутьевых каналов 3 с фурмами на конце, расположенными в зоне фурменного пояса 4, канала 5 отвода газа, причем дутьевые каналы 3 соединены с воздушным коллектором 6, имеющим на конце трехходовой электромагнитный клапан 7, соединенный с форсажным воздушным контуром, который включает в себя устройства для поддержания запаса воздуха под давлением и для нагнетания воздуха под давлением, например вентилятор 8, обратный клапан 9 и воздушный резервуар 10, камера газификации 2 вместе с дутьевыми каналами 3 помещена в термоизоляционный футляр 11, а между каждым дутьевым каналом 3 и воздушным коллектором 6 установлен электронноуправляемый дроссельный клапан 12. Для создания запаса генераторного газа имеется аккумуляторный контур. Он устроен таким образом, что канал 5 отвода газа разделен двумя электромагнитными клапанами 13 и 14 на три участка 15, 16 и 17, средний участок 16 канала 5 отвода газа присоединен через основной канал 18 и байпасный канал 19 к газовому резервуару 20, оборудованному датчиком давления 21, причем основной канал 18 включает в себя насос 22 и обратный клапан 23, а байпасный канал 19 включает в себя третий электромагнитный клапан 24. Нижняя часть камеры газификации 2 снабжена зольниковой решеткой 25 и зольниковым люком 26. Для розжига газогенератора используется технологический люк 27. Верхняя часть камеры газификации снабжена загрузочным люком 28 с запорным механизмом.

Предлагаемый газогенератор работает следующим образом. В камеру газификации 2 при первом запуске загружается небольшая, затравочная порция древесного угля для розжига и твердое топливо для газификации через загрузочный люк 28. При повторных запусках загрузка затравочной порции угля не требуется. После загрузки загрузочный люк 28 и зольниковый люк 26 должны быть герметично закрыты. Управление работой газогенератора осуществляется вручную и автоматически посредством электронного блока управления. Электронный блок управления переводится в режим «запуск 1», после чего вентилятор 8 создает избыточное давление воздуха в воздушном резервуаре 10, через технологический люк 27 осуществляется розжиг древесного угля, находящегося на зольниковой решетке 25. Блок управления газогенератора переводится в позицию «запуск 2», при этом открывается трехходовой электромагнитный клапан 7, пропуская воздух под давлением из воздушного резервуара 10 в воздушный коллектор 6, и через дроссельные клапаны 12 по индивидуальным дутьевым каналам 3 к фурмам. Одновременно с этим открываются электромагнитные клапаны 13 и 14, а третий электромагнитный клапан 24

остаётся закрытым. Воздух, попадая через фурмы в камеру газификации в районе фурменного пояса 4, начинает взаимодействовать с древесным углем. Температура в реакционной зоне возрастает. Когда газогенератор выйдет на рабочий режим и из канала 5 отвода газа пойдёт горючий генераторный газ, блок управления газогенератора переводится в позицию «запуск 3». При этом закрывается электромагнитный клапан 14 и включается насос 22, который по основному каналу 18 из среднего участка 16 канала 5 отвода газа через обратный клапан 23 нагнетает под избыточным давлением генераторный газ в газовый резервуар 20 до тех пор, пока давление газа в газовом резервуаре 20 не достигнет заданного оператором значения, контролируемого блоком управления при помощи датчика давления 21, после чего насос 22 отключается и открывается электромагнитный клапан 14. После этого блок управления газогенератора переводится в позицию «автомат» и производится запуск двигателя внутреннего сгорания, работающего совместно с данным газогенератором. При этом трехходовой электромагнитный клапан 7 перекрывает воздушный резервуар 10, соединяя воздушный коллектор 6 с атмосферой, вентилятор 8 создает определенное избыточное давление в воздушном резервуаре 10 и отключается, степень открытия дроссельных клапанов 12 изменяется электронным блоком управления индивидуально в зависимости от режима работы двигателя внутреннего сгорания. При увеличении нагрузки на двигатель внутреннего сгорания для повышения производительности газогенератора электронный блок управления увеличивает степень открытия всех или только отдельных дроссельных клапанов 12 в зависимости от режима работы двигателя до тех пор, пока двигатель не выйдет на новый установившийся режим работы, а при уменьшении нагрузки на двигатель блок управления соответственно уменьшает степень открытия дроссельных клапанов 12 для уменьшения производительности газогенератора. В случае резкого увеличения нагрузки, а также при выходе двигателя внутреннего сгорания на режим максимальной мощности в работу автоматически включается форсажный воздушный контур. Все дроссельные клапаны 12 открываются полностью. Кроме того, при резком увеличении нагрузки для устранения задержки подачи дополнительного количества генераторного газа в двигатель внутреннего сгорания в работу включается также аккумуляторный контур.

Подача в двигатель внутреннего сгорания газогенераторного газа, накопленного на режимах, отличающихся от режима максимальной мощности, из аккумуляторной емкости, позволяет избежать низкой приемистости двигателя внутреннего сгорания и устранить возможность его полной остановки, связанных с недостатком генераторного газа при резком возрастании нагрузки на двигатель внутреннего сгорания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бирюков А.Л. Улучшение эксплуатационных и экологических показателей бензиновых двигателей путём применения топливно-водных смесей. Дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГАУ, 2011. 177 с.
2. Бирюков А.Л., Коптяев В.А. Обоснование эффективности использования воды в качестве компонента топлива для современных бензиновых двигателей. Сб. тр. ВГМХА. Вологда – Молочное, 2006. С. 10.
3. Бирюков А.Л., Литвинов Е.А. Программа для управления подачей дополнительного топлива в двигателе внутреннего сгорания // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. 2014. № 4. С. 297.
4. Бирюков А.Л., Коптяев В.А. Методика и некоторые результаты исследований показателей работы бензинового двигателя с распределенным впрыском при использовании в качестве топлива бензо-водяной смеси. Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания: Матер. II Всерос. науч.-практ. конф. «Наука – Технология – Ресурсосбережение»: Сб. науч. тр. Вып. 5. Санкт-Петербург – Киров, 2008. С. 43.
5. Марков В.А. и др. Работа дизелей на нетрадиционных топливах М.: Легион-Автодата, 2008. 464 с.

6. Киприянов Ф.А. и др. Параметрический газогенератор с объемным регулированием процесса газификации // Молочнохозяйственный вестник. 2014. № 4 (16). С. 84.
7. Плотников С.А. Создание новых альтернативных топлив // Концепт. 2014. Спецвыпуск № 10. <http://e-koncept.ru/2014/14621.htm>.
8. Бирюков А.Л. и др. Способ и устройство для получения и подачи топливно-водной смеси в ДВС. Патент на изобретение № 2382229. Кл. МПК F02M25/022 (2006.01). 13.11.2007.
9. Бирюков А.Л., Молин А.А. Система для получения и подачи топливно-водной смеси в ДВС. Патент на полезную модель № 144071. Кл. МПК F02M25/022 (2006.01). 25.11.2013.
10. Острецов В.Н. и др. Газогенератор. Патент на изобретение № 2466177. Кл. МПК C10J 3/20 (2006.01). 28.03.2011.
11. Острецов В.Н. и др. Газогенератор. Патент на изобретение № 2555486. Кл. МПК C10J 3/20 (2006.01). 11.07.2013.
12. Бирюков А.Л., Киприянов Ф.А. Газогенератор. Патент на полезную модель № 168538. Кл. МПК C10J3/20(2006.01). 08.04.2016.
13. Бирюков А.Л., Киприянов Ф.А. Газогенератор. Патент на полезную модель № 167119. Кл. МПК C10J3/20 (2006.01). 08.04.2016.

УДК 677.027.65

**НАНЕСЕНИЕ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ ОТ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЙ НА  
ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
DRAWING THE PROTECTIVE LAYER FROM SUPERHIGH-FREQUENCY  
RADIATIONS ON TEXTILE MATERIALS**

**Валентин Владимирович Сафонов\*, Анна Евгеньевна Третьякова\*,  
Виктор Борисович Иванов\*\*, Индира Дмитриевна Капаева\*  
Valentin V. Safonov\*, Anna E. Tretyakova\*,  
Victor B. Ivanov\*\*, Indira D. Kapayeva\***

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

*\*\*Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук,  
Россия, Москва*

*\*\*Institute of chemical physics of N. N. Semenov of the Russian Academy of Sciences,  
Russia, Moscow  
(e-mail: ivb@chph.ras.ru)*

*Аннотация:* Рассмотрены разработка состава печатной композиции для придания текстильному материалу защитных свойств от излучений, в частности, сверхвысококачастотного (СВЧ), приведены результаты экспериментального исследования защитных свойств полученного материала.

*Abstract:* Are considered development of structure of printing composition for giving to textile material of protective properties from radiations, in particular, of superhigh-frequency, results of pilot study of protective properties of the received material are given.

*Ключевые слова:* СВЧ-излучение, графен, защитный материал, СВЧ-поглотители.  
*Keywords:* SHF-radiation, decanter, protective material, SHF-absorbers.

Проникание небольшой части мощности СВЧ-установок в окружающее пространство, это может представлять опасность для людей: воздействие достаточно мощного СВЧ-излучения на зрение, нервную систему и органы человека может вызвать серьезные

болезненные явления. При работе с мощными источниками СВЧ энергии необходимо неукоснительно соблюдать требования техники безопасности. По мере удаления от мест излучения СВЧ (от резонаторных камер или волноводных систем, где производится обработка с помощью СВЧ-энергии) поток излученной энергии быстро ослабевает обратно пропорционально квадрату расстояния. Поэтому можно установить безопасную границу, где уровень излучения ниже нормы, и выполнить ее в виде ограждения, за которое нельзя заходить во время технологического процесса. Технология микроволновых поглотителей является важной темой в военной отрасли, так как электромагнитное излучение способно заглушить линии связи или повредить электронику, например, беспилотника либо управляемого боеприпаса. Давно известно и подтверждено на практике, что современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с дистанционным управлением подвержены воздействию средств радиоэлектронной борьбы. При глушении канала управления аппарат не может продолжать выполнять возложенные задачи и переходит на работу в автоматическом режиме, например, самостоятельно возвращаясь на базу [1, 2].

СВЧ-поглотители – это специально разработанный материал для подавления излучения электромагнитной энергии, которая падает на поверхность поглотителя путем превращения электромагнитной волны в тепловые колебания молекул и атомов. Рассеивание происходит, когда микроволновое излучение проникает в структуру поглотителя, при этом ослабляясь за счет абсорбции веществом поглотителя. Необходимость разработки таких защитных устройств стимулировала большое количество работ в этой области [2].

Целью работы является разработка состава для создания защитного материала от СВЧ-излучения, превосходящая по параметрам существующие аналоги.

Задачи работы заключаются в создании методики производства материала, а также в определении свойств полученных образцов в зависимости от состава печатной краски и оптимального состава печатной композиции.

Образцы изготавливались по технологии пигментной печати, с использованием многослойного графена и малослойного графена. Фиксация печатной краски на ткани производилась путем термообработки. Образцы помещались в волноводный тракт прямоугольного сечения. Непосредственно измерялись модули коэффициента отражения от волноводной ячейки, согласованной с трактом (работающей в «излучающем» режиме), с уровнем обратного отражения ниже -30 дБ, нагруженную на измеряемый образец, а также модуль коэффициента прохождения электромагнитного излучения (ЭМИ) через образец, размещенный таким образом, чтобы полностью перекрыть сечение волноводного тракта. Для оценки степени анизотропии электрических свойств образцов измерения проводились для двух взаимно перпендикулярных поляризационных положений каждого образца. Источником квазимонохроматического излучения соответствующего диапазона служил свип-генератор на диоде Ганна с амплитудной модуляцией рпн-диодами. Генерация излучения проводится в режиме линейно изменяющейся частоты в пределах рабочего диапазона волновода или на фиксированной частоте. Перестройка частоты осуществляется за счет линейного изменения напряженности постоянного подмагничивающего поля в резонаторе с феррит-гранатовой сферой. В качестве выделяющего элемента используются направленные детекторы падающего, отраженного или прошедшего излучения, состоящие из направленных волноводных ответвителей на сочлененных перфорированных волноводах с встроенным во вторичный тракт СВЧ-детектором, работающем в линейном по полю режиме при смещении рабочей точки [3-5].

Приведенные коэффициенты прохождения ЭМИ через образец  $K_{\text{прох}}$ , отражения от образца  $K_{\text{отр}}$ , а также удельного поверхностного сопротивления  $\rho_s$  и действительной части диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  оценочно показывают повышение поглощающей способности от увеличения содержания графена в исследуемых образцах. Видно, что наилучшими характеристиками обладают образцы, напечатанные с 50% долей многослойного графена и малослойного графена.

**Таблица 1. Радиотехнические характеристики испытанных образцов тканей**

№	Образец	$K_{\text{прох}}$ , дБ	$K_{\text{отр}}$ , дБ	$\rho_s$ , Ом/квадрат
1	Графен 1 (0,5 г/4 мл)	0,8 (  ) 0,9(⊥)	18,4 (  ) 16,2 (⊥)	0,45
2	Графен 1 (1,0 г/4 мл)	4,5 (  ) 5,8 (⊥)	5,9 (  ) 5,8(⊥)	3,06
3	Графен 1 (2,0 г/ 4мл)	7,6 (  ) 5,2 (⊥)	4,3 (  ) 6,0 (⊥)	4,03
4	Графен 2 (0,5 г / 4 мл)	2,3 (  ) 1,2(⊥)	11,5(  ) 15,9(⊥)	0,84
5	Графен 2 (1,0 г / 4 мл)	4,3 (  ) 2,2(⊥)	7,6 (  ) 13,7(⊥)	1,61
6	Графен 2 (2,0 г/ 4 мл)	11,0 (  ) 11,4(⊥)	3,0 (  ) 2,6(⊥)	8,96

Таким образом, на основании определения оптимального состава печатной композиции в производстве поглощающих материалов по проведенной технологии возможно уменьшить воздействие на человека СВЧ-излучения и повысить эффективность защищающего от него текстильного материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гребёнкин А.Н., Гребёнкин А.А., Зверлин С.В., Труевцев Н.Н. О новых возможных технологиях создания текстильных материалов для защиты от электромагнитного излучения // Вестник СПГУТД. 2008. №3(18). с. 78 – 82
2. Борзенко Г.П., Ткачев Н.А. Пат. 2119216 Российская Федерация. Поглотитель электромагнитных волн и способ его изготовления / заявл. 13.08.1996.; опубл. 20.09.1998
3. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)
4. Никифорова А.А., Давыдов А.Ф., Курденкова А.В., Бызова Е.В. Разработка метода оценки коэффициента прохождения электромагнитного излучения тканей специального назначения // Дизайн и технологии. 2013. № 36 (78). с. 55-61
5. Т.С. Бекренева, В.И. Ефремов, Г.Ю. Захарова, В.К. Осипович, А.В. Полоник, К.А. Спиридонов Пат. 2153785, Российская Федерация. Способ оценки радиозащитных свойств радиозащитной одежды / заявл. 15.12.98; опубл. 27.07.00

УДК 662.997

**СОЛНЕЧНЫЕ ВОДОНАГРЕВАТЕЛИ ИЗ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**  
**SOLAR WATER-HEATERS PRODUCED FROM TEXTILE MATERIALS**

**Леонид Иванович Жмакин, Николай Михайлович Шарпар**  
**Leonid I. Zhmakin, Nicolai M. Sharpar**

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

*Аннотация:* Описаны конструкция емкостного солнечного коллектора из водостойких тканей с полимерными покрытиями и метод интенсификации теплообмена в нем. Представлены результаты экспериментальных исследований теплотехнических характеристик емкостного коллектора в натуральных условиях. Определены полный коэффициент потерь тепла и эффективность этого коллектора

*Abstract:* The construction of capacitive solar collector produced from waterproof textiles with polymer coatings was described. The device was presented to increase heat transfer in this collector. The experimental studies were made to determine the parameters of thermal performance of capacitive textile collector at outdoor conditions. The test data were obtained concerning the overall energy loss coefficient and the efficiency of the collector.

*Ключевые слова:* емкостной солнечный коллектор, водостойкие ткани, коэффициент потерь тепла, эффективность коллектора.

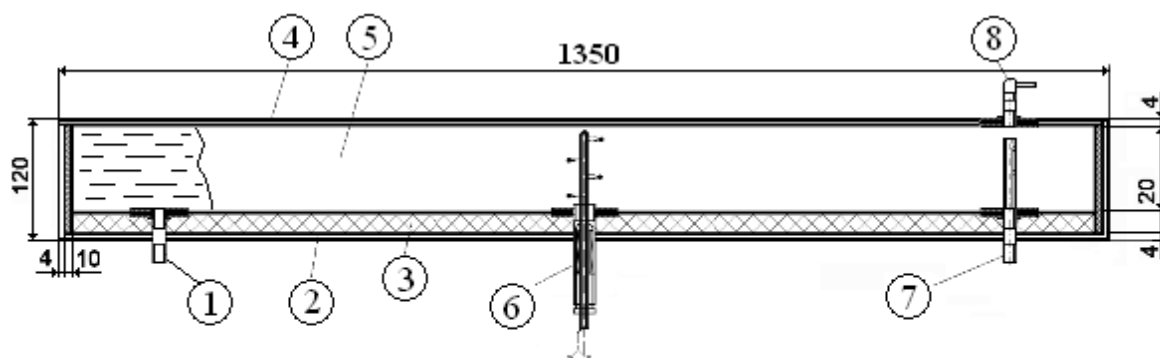
*Keywords:* capacitive solar collector, waterproof textiles, energy loss coefficient, collector efficiency.

Для умеренного солнечного нагрева воды перспективны емкостные гелиоколлекторы, одновременно являющиеся и аккумуляторами теплоты. Их энергетическая эффективность несколько ниже, чем у коллекторов проточного типа, но они выигрывают благодаря своей конструктивной простоте, надежности и меньшей стоимости. Емкостные коллекторы представляют интерес, в первую очередь, для сезонных потребителей горячей воды в сельском хозяйстве, объектов санаторно - курортного, гостиничного и частного жилищного секторов.

Нами разработаны опытные образцы емкостных коллекторов из водостойкой технической ткани с полимерным покрытием и исследованы их теплотехнические характеристики. Коллекторы представляют собой герметичные оболочки, сваренные термическим способом из водонепроницаемой тентовой ткани черного цвета с двухсторонним ПВХ покрытием. Эта ткань имела толщину 0,53 мм и поверхностную плотность 630 г/м<sup>2</sup>; а её основой служили полиэстеровые нити 1100 дтекс; она работоспособна при температурах до +70°С и выдерживает давление воды до 3 бар.

Конструктивно текстильные солнечные коллекторы представляли собой плоские емкости прямоугольной формы с размерами 1320x640x80 мм и габаритной площадью 0,84 м<sup>2</sup>. Герметичность обеспечивалась сваркой текстильных полотен внахлест горячим воздухом. После сварки емкости опрессовывались водой под избыточным давлением 30 кПа, рабочее давление воды во время экспериментов обычно не превышало 20 кПа. Собственная масса тканевых оболочек составляла ~ 1,5 кг; все они вмещали по 70 литров воды, имели штуцеры для подачи и слива жидкости, удаления воздуха, а также специальный зонд с четырьмя термопарными датчиками, измерявшими распределение температур воды по высоте. Водонаполненные оболочки могли размещаться открыто на опорном основании,

либо в жестком прямоугольном корпусе, днище и боковые стенки которого были теплоизолированы листами вспененного полистирола. Сверху корпус был закрыт листом прозрачного сотового поликарбоната, плотно прилежавшим к тканевой емкости с водой (см. рис. 1).



1 - штуцер для подачи воды, 2 - корпус коллектора, 3 - теплоизоляция,  
4 - прозрачное покрытие, 5 - тканевая емкость с водой, 6 - термопарный зонд, 7 и 8 - штуцеры для отвода воды и удаления воздуха

**Рис. 1. Схема емкостного коллектора из водостойкой ткани**

Особенность эластичных коллекторов емкостного типа состоит в том, что они всегда устанавливаются горизонтально на опорной поверхности и прогреваются солнечным излучением сверху, т.к. иначе возможна их существенная деформация. Однако в этом случае в жидкости наблюдается состояние гидростатического равновесия, в ней не развивается свободная конвекция, а перенос теплоты может осуществляться только теплопроводностью, что значительно ухудшает динамику прогрева.

Для решения данной проблемы нами был предложен метод интенсификации нестационарного нагрева воды за счет ее перемешивания и струйного натекания на обогреваемую поверхность коллектора. С этой целью во внутренней полости коллектора был установлен погружной микронасос с электроприводом постоянного тока, работающим от солнечной фотобатареи. Батарея имела 24 круглых фотоэлемента из монокристаллического кремния диаметром  $100 \pm 1$  мм и толщиной 0,5 мм, соединенных последовательно. Размеры батареи 640x425 мм, напряжение холостого хода около 12 В.

Экспериментальные исследования теплообмена в емкостных коллекторах проводились в натуральных условиях в дни с ясной безоблачной погодой. В опытах фиксировались зависимости от времени суммарной солнечной радиации, поступающей на поглощающую поверхность коллектора, а также температур воды в разных точках по высоте ее слоя и температур на поверхностях ткани.

Автоматизированная система записи и обработки измеряемых величин была выполнена на основе промышленных контроллеров ТРМ 101 и ТРМ 10 фирмы «Овен», которые имели несколько аналоговых измерительных входов, для подключения термопар и пиранометра. Контроллеры имели связь с персональным компьютером, что позволяло с заданной периодичностью регистрировать и архивировать измеренные величины. Некоторые результаты опытов приведены на рис. 2 и 3. Здесь 1, 2, 3 и 4 – температуры воды в разных точках по высоте её слоя (шаг термопарных датчиков 16 мм); 5 – температура наружного воздуха; 6 и 7 – температуры тканевых стенок емкости; 8 – показания пиранометра.



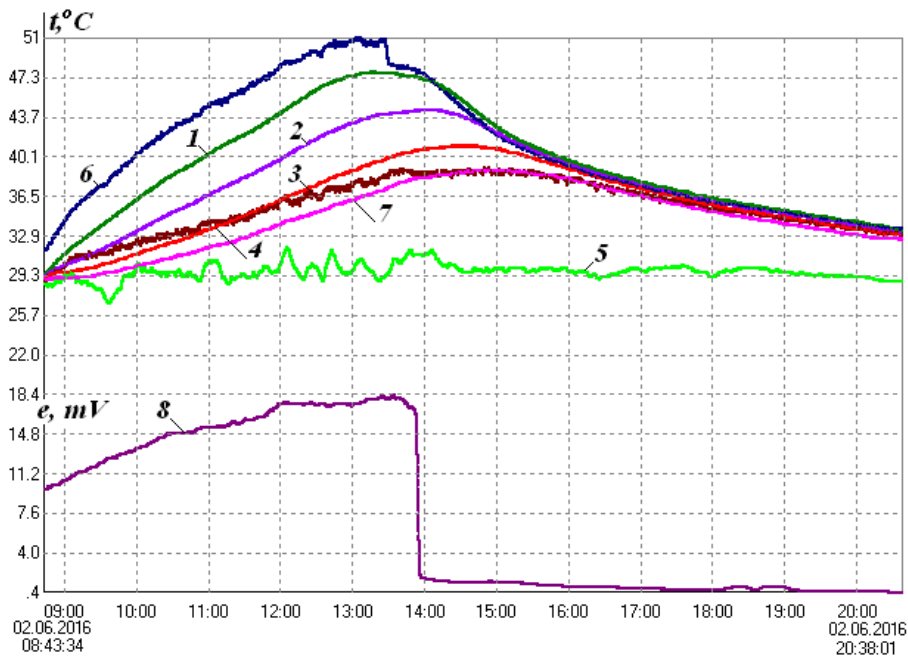


Рис. 2. Бескорпусной текстильный коллектор

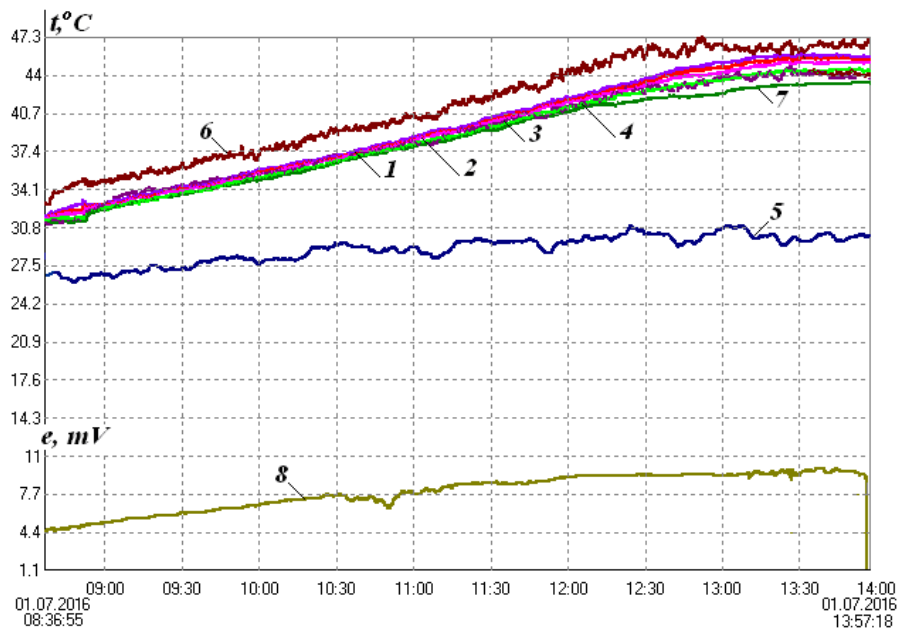


Рис. 3. Бескорпусной текстильный коллектор с интенсификацией теплопередачи

Теплопроизводительность и КПД коллектора вычислялись с шагом по времени 20 минут; на каждом шаге определялись средние значения интенсивности солнечной радиации и температур жидкости во всех её слоях. При расчете температуры верхнего слоя воды вводилась поправка на температурный перепад в обогреваемой стенке емкости; на тыльной стенке им пренебрегали. Количества теплоты, накопленные различными слоями воды, суммировали и находили теплопроизводительность водонагревателя за фиксированный интервал времени, а ее отношение к энергии излучения, поступившей на поглощающую поверхность аппарата, представляло его КПД –  $\eta$ .

Для описания полученных результатов использовалось уравнение Уиллера-Хоттеля-Блисса [1]

$$\eta = F' \eta_o - F' U_L \frac{t_{cp} - t_0}{E} = A - Bt^*, \quad (1)$$

где  $F'$  и  $\eta_o$  – эффективность эластичной поглощающей панели и ее оптический КПД,  $U_L$  – полный коэффициент потерь тепла,  $E$  – плотность потока солнечной радиации,  $t_{cp}$  и  $t_0$  – средняя температура жидкости и температура наружного воздуха,  $t^* = (t_{cp} - t_0)/E$  – приведенная температура. Уравнение (1) устанавливает линейную связь между КПД емкостного коллектора и приведенной температурой при условии, что коэффициент тепловых потерь является постоянным. Комплексы  $A = F'\eta_o$  и  $B = F'U_L$  являются основными теплотехническими параметрами этого коллектора; их значения, полученные при обработке опытных данных методом наименьших квадратов, приведены в таблице 1.

Для емкостных коллекторов были также проведены независимые измерения коэффициента тепловых потерь, который представляет собой коэффициент теплопередачи между нагретой водой и окружающим воздухом, отнесенный к активной поверхности теплообменника, поглощающей солнечное излучение. Для его измерения использовался метод регулярного режима охлаждения [2]. Текстильная емкость, заполненная водой, сначала нагревалась за счет энергии Солнца; затем перемещалась в лабораторное помещение, где остывала в течение длительного времени при отключенной системе циркуляции. В опытах автоматически регистрировались температуры воды в различных зонах коллектора, по их зависимости от времени рассчитывался темп охлаждения жидкости и находился коэффициент потерь тепла

$$U_L = m \frac{M_{жс} c_p}{F}, \text{ где } m = \frac{d(\ln \theta)}{d\tau} \quad (2)$$

В уравнениях (2)  $M_{жс}$  и  $c_p$  – масса и теплоемкость воды в емкостном коллекторе,  $\theta = t - t_0$  – ее избыточная температура,  $\tau$  – время,  $m$  – темп охлаждения,  $F$  – активная поверхность коллектора.

С помощью экспериментальных данных по коэффициентам тепловых потерь была рассчитана эффективность текстильной поглощающей поверхности, присутствующая в уравнении (1). Этот параметр обычно интерпретируется как отношение двух коэффициентов теплопередачи: «нагреваемая жидкость – наружный воздух» и «стенка коллектора - наружный воздух» [1]. С использованием такого подхода были сделаны косвенные оценки коэффициентов теплоотдачи для воды, омывающей обогреваемую текстильную поверхность коллектора изнутри. Полученные данные также приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Основные теплотехнические характеристики коллектора**

Характеристики коллектора	Конструктивный вариант емкостного коллектора		
	Корпусной, без циркуляции	Бескорпусной, без циркуляции	Бескорпусной, с циркуляцией
$A = F'\eta_o$	0,35	0,48	0,72
$B = F'U_L$	5,14	11,8	16,1
$U_L$ , Вт/м <sup>2</sup> гр	9,84	18,81	-
$F'$	0,52	0,63	0,87
$\alpha_{жс}$ , Вт/м <sup>2</sup> гр	6...8	15...18	64...86

Несмотря на приближенный характер этих расчетов, они подтверждают, что насосная циркуляция жидкости в емкостных коллекторах способствует интенсификации теплоотдачи и увеличению выработки теплоты. Если же вынужденная циркуляция не используется, то бескорпусной вариант имеет преимущество по сравнению с корпусным, т.к. в нем теплоотдача заметно выше. Этот факт имеет простое объяснение: при солнечном обогреве заполненной водой емкости часть лучистого потока поступает на ее боковые стенки; у этих стенок развивается свободная конвекция, способствующая перемешиванию жидкости. В корпусе такой эффект невозможен.

В заключение нашей статьи следует отметить, что экспериментальные исследования подтвердили удовлетворительные теплотехнические характеристики текстильных солнечных коллекторов емкостного типа. В условиях средней полосы России они позволяют за день получить около 70 литров воды подогретой до 43-45°C при среднем КПД за этот период 0,33...0,37.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Duffie J.A, Beckman W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, 2 Ed., J.Wiley & Sons, USA, 1991, 919 p.
2. Теория тепломассообмена / Под ред. Леонтьева А.И., М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1997, 683 с.

УДК 678.742.2-405.8

### ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ SOME MODELS RESEARCHES OF COMPLEX ECONOMIC EFFICIENCY FOR SYSTEMS OF ALTERNATIVE ENERGY

Светлана Ивановна Бухкало, Оксана Игоревна Ольховская  
Svetlana I. Buhkhalo, Oksana I. Olkhovskaya

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,  
Харьков, Украина  
National Technical University «KhPI», Kharkiv, Ukraine  
(e-mail: bis.khr@gmail.com)*

*Аннотация:* Рассмотрены некоторые особенности повышения экономической эффективности использования альтернативной энергетики на комплексном предприятии, которое может обеспечивать все свои энергетические потребности самостоятельно. Исследования направлены на изучение таких вопросов, как разработка моделей. При этом учитывались факторы выбора научно-обоснованных методов расчета; выбор предприятий для реализации технологий с учетом вида энергетических ресурсов и проектных решений.

*Abstract:* In this, phase of work in NTU «KhPI» studies the possibility of increasing the economic efficiency of alternative energy sources. The method of economic efficiency for systems of alternative energy is technologies and economies develop and become more complex: energy needs increase greatly; the logic rule of types and methods of alternative energy, as well as the possibility of calculating the basic set of main economic indicators are classified; identified possible areas of work in obtaining the necessary information and results; energy is a fundamental input for economic systems.

*Ключевые слова:* интегрированные энерготехнологии, экономическая эффективность, альтернативные источники энергии, научно-обоснованные методы определения.

*Keywords:* integrated energy technologies, economic efficiency, alternative energy sources, evidence-based methods.

Экономические и социально-психологические аспекты повышения эффективности управления, а, следовательно, и экономической эффективности для промышленности альтернативной энергетики сегодня формируют новую парадигму экономического развития – интегрированные энерготехнологии. Альтернативная энергетика – это ориентация на инновационный путь развития экономики, требует перестройки системы управления и органического включения инновационных факторов в процесс энергетического и технического переоснащения производства с целью внедрения и выпуска

конкурентоспособной продукции на базе научно-обоснованных методов определения экономической эффективности [1-7].

Актуальность инновационной модели связана с научно-техническим прогрессом в области альтернативной энергетики, приводит к появлению и внедрению новых технологий и производств, что является серьезной трансформацией существующего энергетического рынка. Постановка проблемы развития инновационной сферы в мире в общем виде может быть сведена к разработке методических основ и подходов к решению конкретных производственных ситуаций при внесении внешних возмущающих воздействий в производственный процесс, обусловленных инновационной деятельностью и достигаемых при этом результатов, направленных на повышение эффективности общественного производства. Во время новых реалий хозяйственной жизни и международных экономических отношений, когда основными критериями эффективного развития становятся качество и скорость внедрения новых информационно-технологических систем и управленческих подходов, назрела существенная необходимость изменить сами подходы к инновационной политике.

Представленная модель определения экономической эффективности альтернативной энергетики может быть описана на примере трех уровней для ветровой энергетики [1-6].

1) Принципиально-познавательный уровень моделирования отображает общие принципы формирования и реализации инновационного потенциала проекта с помощью имеющихся взаимосвязей на этапах усвоения комплекса составляющих эффектов и дальнейшего внедрения.

2) Логико-математический уровень моделирования характеризует переход от теоретическо-познавательного этапа реализации комплекса эффектов в логико-математическую структуру конкретного действия с помощью методов повышения инновационного восприятия.

3) Организационно-производственный этап характеризует переход от первых двух уровней в область восприятия и реализации прикладных организационно-производственных методов поэтапного повышения инновационного восприятия ветроэнергетики, что предполагает соответствующее снижение срока окупаемости.

Повышение цен на энергоносители и неуверенность в стабильности, и надежности поставщиков нефти и газа привело к беспокойству среди стран-импортеров во всем мире. Это в свою очередь повысило рост интереса к определению экономической эффективности использования таких возобновляемых источников энергии, как энергия солнца и ветра. Энергетика, как стратегическая составляющая экономики, обуславливает уровень ее развития, характер межотраслевых связей, статус государства на международной арене, ее привлекательность как партнера [1, 2]. Показатели эффективности строительства ветроэнергетических станций (ВЭС) связаны с объемами производства экологически чистой электроэнергии из возобновляемых источников энергии. Комплексная Методика для ветроэнергетики (КМ) позволяет оценить возможность дальнейшего реинвестирования в расширение строительства ВЭС за счет амортизационных отчислений и прибыли, которые формируются в процессе деятельности предприятия. Функциональную модель поэтапного повышения инновационного восприятия ветроэнергетики и соответствующего снижения срока окупаемости можно представить в виде алгоритма инновационного потенциала по представленной ниже методике расчета. Экономическая эффективность капитальных вложений определяется с помощью системы основных определяющих и дополнительных показателей (табл. 1:  $T$  – срок полезного использования ВЭС;  $E$  – выработка электроэнергии ВЭС за весь срок ее полезного использования;  $E_t$  – выработка электроэнергии ВЭС  $t$ -ом году;  $E'_t$  – выработка электроэнергии в  $t$ -ом году, полученный на мощностях, введенных за счет первоначальных капитальных вложений, млн. кВт ч;  $P_T^0$  – мощность, введенная за счет первичных капиталовложений, МВт;  $P_T^R$  – мощность, введенная за счет реинвестиций;  $P_T^j$  –

установленная мощность всех ВЭУ  $j$ -того типа на конец срока использования, МВт;  $k_j$  – коэффициент использования номинальной мощности ВЭУ  $j$ -того типа;  $P_t$  – средняя мощность ВЭС в  $t$ -том году). Критерии эффективности призваны предоставлять возможность принимать решение о наиболее целесообразных направлениях вложения средств.

**Таблица 1. Критерии оценки экономической эффективности ВЭС**

Показатель	Формула расчета
Критерий эффективности инвестиционного проекта ВЭС	$\max E = \max \sum_{t=1}^T E_t$
Коэффициент расширения производства (КР) электроэнергии ВЭС	$\max KR = \max \left( \sum_{t=1}^T E_t / \sum_{t=1}^T E_t' \right)$
Мощность ВЭС на конец срока полезного использования ( $P_T$ )	$P_T = P_T^0 + P_T^R$
Годовая выработка электроэнергии ВЭС на конец срока полезного использования ( $E_T$ )	$E_T = 8760 \sum k_j P_T^j$
Среднегодовая мощность ВЭС ( $\bar{P}$ )	$\bar{P} = \left( \sum_{t=1}^T P_t / T \right)$
Среднегодовая выработка электроэнергии ВЭС ( $\bar{E}$ )	$\bar{E} = E / T$

Критерием эффективности капитальных вложений в данном случае должен выступать максимум объема электроэнергии, произведенной ВЭС за весь срок ее полезного использования [1, 6]. Эта электроэнергия производится на мощностях, введенных в действие как за счет первоначальных капитальных-вложений, так и за счет вторичных источников – амортизационных отчислений и прибыли, полученных ВЭС от продажи произведенной электроэнергии. Для вычисления данного показателя срок полезного использования ВЭС определяется сроком эксплуатации ветроэнергетической установки, приведенной в ее паспортных данных. Классифицируют ситуации сравнения вариантов с одинаковыми и разными условиями капитальных вложений по основным показателям: суммы капитальных вложений; графики введения в действие капитальных вложений; строительные лаги; сроки полезного использования ВЭС и тому подобное.

Исследования показывают, что в пределах системной парадигмы экономика сегодня рассматривается с позиций формирования, трансформации, взаимодействия и ликвидации экономических систем. К последним относятся предприятия, организации, рынки, страны и т.д., а также другие виды экономических явлений: проекты, процессы, среды.

Следует отметить, что представление экономики в форме взаимодействия этих четырех видов систем и есть тот новый взгляд, который нужен для системного и эффективного решения возникающих задач менеджмента. В свою очередь, каждый из четырех видов систем имеет свою миссию в экономике, которую невозможно без него выполнить, а именно: 1) объектные системы (например, структурное подразделение предприятия) организуют множество разнородных элементов в единое целое, поддерживают стабильность и воспроизводства ресурсов и условий; 2) проектные системы (проведение реконструкции, реструктуризация производства, создание нового изделия и т.п.) создают новации, способствуют инновационной трансформации, вносят элемент динамики, энергетически подпитывают другие классы систем; 3) средовые системы (внутрифирменные стандарты, регламенты, институты) обеспечивают коммуникацию и координацию, создают условия для обмена между различными компонентами; 4) процессные системы (бизнес-процессы, технологические процессы) гармонизируют деятельность, уравнивают экономические системы, направляют потоки между объектами.

Можно сделать вывод, что при указанных условиях возникает необходимость в формировании новой управленческой парадигмы гармоничного, а значит эффективного, менеджмента. Присутствие согласованности в пропорциях составляющих частей бизнес-процессов является залогом адаптивности организации и обеспечения ее дальнейшего развития. Таким образом, эффективный менеджмент инновационных проектов предполагает следующие необходимые дополнительные составляющие: 1) Выбор направления инновационных технологий с учетом особенностей работы базового объекта и видов энергетических ресурсов с учета альтернативных источников энергии. 2) Выбор эффективных методов управления комплексными проектами ресурсосбережения и энергоэффективности. 3) Методологические и методические основы управления комплексными проектами.

Обеспечение конкурентоспособности национальной и региональной экономики зависит главным образом от конкурентоспособности отечественных промышленных предприятий. Решение этой задачи, прежде всего, связано с разработкой эффективной системы управления инновационным потенциалом предприятий. Разработка эффективных методов управления инновационным потенциалом предприятия является основой формирования организационно-экономических и управленческих механизмов развития производственных систем. Функционирование и развитие предприятий, направлено на сохранение и укрепление рыночных позиций. В условиях жесткой конкуренции это удается лишь тем предприятиям, которые ориентируются на высокие стандарты деятельности и постоянно проявляют заботу об обеспечении своих конкурентных преимуществ через привлечение разнообразных инноваций. Целенаправленное управление инновационной деятельностью предприятия предусматривает не только организацию новой идеи, но и смещение акцентов в системе стимулирования персонала в сторону поощрения инициативы, участия в преобразованиях, которые возникают в процессе внедрения инноваций. Именно способность к инновациям, основанных на знаниях, обеспечивает рост как интеллектуального капитала, так и рыночной стоимости предприятия. Современные технологии управления инновационной деятельностью – мало исследованное направление. Это объясняется необходимостью учета и анализа большого числа факторов и их взаимодействий в процессе динамического развития производства, а также сложностью методик обработки первичной информации и принятия соответствующих управленческих решений [1, 5-7].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Товажняньський Л.Л., Бухкало С.І., Ольховська О.І. та ін.* Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) 2-ге вид. доп. [текст] підручник. Київ «Центр учбової літератури»: 2016, – 470 с.
2. *Бухкало С.І.* Деякі властивості полімерних відходів у якості сировини для енерго- і ресурсозберігаючих процесів. // Інтегровані технології та енергозбереження – Х.: НТУ «ХП». 2014. – № 4. – С. 29–33.
3. *Кременчутська Л.О., Демьохіна О.О., Ольховська О.І., Кваріцхава Л.В.* Економічна ефективність капітальних вкладень у вітроенергетичні станції // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2012. – № 10. – с. 167–173.
4. *Бухкало С.І.* Основні складові комплексних підприємств енергетичного міксу // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2015. – № 7 (1116). – с. 3–21.
5. *Товажняньський Л.Л., Кошелева М.К., Бухкало С.І.* Общая химическая технология в приме-рах, задачах, лабораторных работах и тестах (уч. пособие). М.: ИНФРА-М, 2015. – 447 с.
6. *Ольховская О.І.* Опыт организации производства, развития и эксплуатации объектов альтернативной энергетики в Швеции // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2014. – № 16 (1059). – с. 118–126.
7. *Бухкало С.І., Ольховська О.І.* Основні складові комплексних підприємств енергетичного міксу // Вісник НТУ «ХП». – Х.: НТУ «ХП». 2015. – № 7 (1116). – С. 103–108.

УДК 621.184.64

**МЕТОДИКА ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА ВРАЩАЮЩЕГОСЯ РЕГЕНЕРАТОРА  
THE HEAT CALCULATION METHOD OF ROTATING REGENERATOR****Леонид Иванович Жмакин, Николай Михайлович Шарпар  
Leonid I. Zhmakin, Nicolai M. Sharpar***Российский государственный университет им. А.Н Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва  
The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow  
(e-mail: LI\_Zhmakin@mail.ru)*

*Аннотация:* Описан метод расчета вращающегося регенератора для вентиляционных систем, проанализированы температурные поля в роторе и вклад в теплопередачу его динамического сопротивления в зависимости от скорости вращения.

*Abstract:* The calculation method have been described concerned the heat transfer in rotating regenerator for ventilation systems, the temperature distribution in the rotor as well, as its dynamic thermal resistance have been analyzed depending on the rotor velocities.

*Ключевые слова:* вращающийся регенератор, температурное распределение, динамическое термосопротивление ротора.

*Keywords:* rotating regenerator, the temperature distribution, dynamic thermal resistance in the rotor.

В системах вентиляции и кондиционирования одним из наиболее перспективных энергосберегающих мероприятий является утилизация теплоты вытяжного воздуха для частичного подогрева приточного в холодный период года. Для этого используются аппараты различных конструкций, в том числе регенераторы с вращающимся ротором. В качестве насадки в этих регенераторах применяется гофрированная алюминиевая лента с подложкой из такой же, но недеформированной ленты. В результате между ними формируются каналы для прохода воздуха. Эта сдвоенная лента навивается на вал в форме спирали Архимеда. Толщина лент мала – порядка десятков микрон.

Кейсом и Лондоном [1] предложен метод расчета вращающихся регенераторов, в которых скорость вращения барабана учитывается при помощи эмпирической поправки, зависящей от теплоемкостей теплоносителей и насадки. Хотя на первый взгляд такая форма поправки довольно логична, она не учитывает влияния интенсивности теплоотдачи. Кроме того, в качестве гипотезы в [1] используется представление коэффициента теплопередачи как средневзвешенного по площадям поверхности теплообмена холодного и горячего каналов. В нашей работе предлагается метод расчета, свободный от таких предположений.

В отличие от регенераторов с неподвижной насадкой, где температура теплоносителей на выходе из насадки изменяется во времени, во вращающихся регенераторах, работающих в стационарном режиме, их температура остается неизменной. В этом они схожи с рекуперативными теплообменниками. Более того, в тех же рекомендациях [1] по расчету вращающихся регенераторов для них сохраняются те же, что и у рекуператоров, определения среднего температурного напора и эффективности теплообменника. Среднеинтегральные температуры каждого из теплоносителей  $t_{ж1}$  и  $t_{ж2}$  рассчитываются по среднему температурному напору теплоносителей и их температурам на входе и выходе; они не зависят от температур стенок (см. [2]) и, следовательно, будут неизменны во времени. Среднелогарифмический напор совпадает [2] с разностью среднеинтегральных температур  $\Delta t_{л} = t_{ж1} - t_{ж2}$ . Но температура стенки (температура насадки) будет изменяться во времени.

Насадка регенератора выполняется из тонкой металлической фольги, для которой число Био  $Bi = \alpha\delta/\lambda \ll 1$ . В этом случае температурное поле фольги практически однородно по толщине, и ее прогрев (охлаждение) определяется лишь закономерностями теплоотдачи. Изменение энергии насадки определяется величиной потока теплоты через ее поверхность, что позволяет записать для каждой из частей регенератора уравнение теплового баланса в виде

$$c\rho V \frac{dt_i}{d\tau} = \alpha_i(t_{жi} - t_i)F; \quad i = 1,2 \quad (1)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициенты теплоотдачи,  $c$  и  $\rho$  – удельная теплоемкость и плотность насадки;  $V$  и  $F$  – объем и площадь поверхности насадки;  $t_1$  и  $t_2$  – температуры стенки на стадиях прогрева и охлаждения, соответственно.

Обозначим

$$z_1 = 2\alpha_1\tau/c\rho\delta; \quad z_2 = 2\alpha_2\tau/c\rho\delta \quad (2)$$

$$Z_1 = 2\alpha_1\tau_1/c\rho\delta; \quad Z_2 = 2\alpha_2\tau_2/c\rho\delta \quad (3)$$

где  $\tau_1, \tau_2$  – времена омывания насадки горячим и холодным теплоносителями, соответственно. Учитывая определения (2), (3) и то, что  $V/F = \delta/2$ , преобразуем уравнения (1) к виду

$$dt_1/dz_1 = t_{ж1} - t_1; \quad 0 \leq z_1 \leq Z_1 \quad (4)$$

$$dt_2/dz_2 = t_2 - t_{ж2}; \quad 0 \leq z_2 \leq Z_2 \quad (5)$$

После осреднения по продольной координате эти уравнения не изменят своей формы, и в дальнейшем все значения температур в этих уравнениях рассматриваются как среднеинтегральные по длине теплообменника.

Общие решения уравнений (4) и (5) имеют вид

$$t_{ж1} - t_1 = c_1 \exp(-z_1); \quad t_2 - t_{ж2} = c_2 \exp(-z_2) \quad (6)$$

Температура стенки в регенераторе является непрерывной периодической функцией. Поэтому температура стенки на выходе из зоны нагрева должна быть равна температуре на входе в зону охлаждения, а ее значение на выходе из зоны охлаждения должно совпадать с соответствующим значением на входе в зону нагрева, т.е.

$$t_1|_{z_1=Z_1} = t_2|_{z_2=0}; \quad t_1|_{z_1=0} = t_2|_{z_2=Z_2}.$$

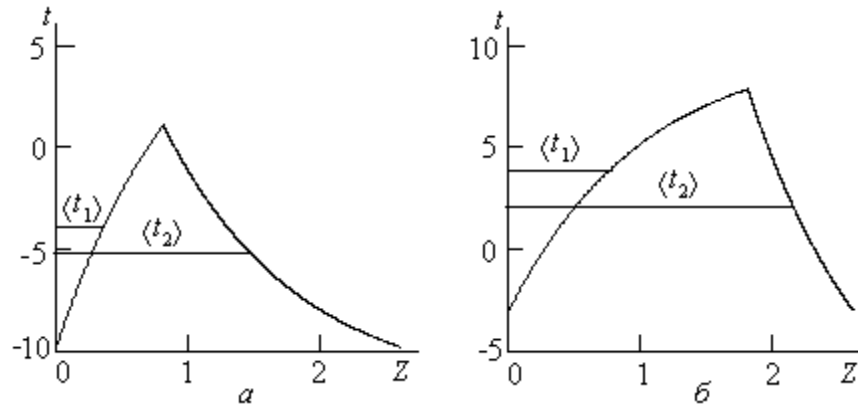
С помощью этих условий определяются значения констант в уравнениях (6), что позволяет представить температурные поля в обеих зонах в виде

$$t_{ж1} - t_1 = (t_{ж1} - t_{ж2}) \frac{1 - \exp(-Z_1)}{1 - \exp[-(Z_1 + Z_2)]} \exp(-z_1) \quad (7)$$

$$t_2 - t_{ж2} = (t_{ж1} - t_{ж2}) \frac{1 - \exp(-Z_2)}{1 - \exp[-(Z_1 + Z_2)]} \exp(-z_2) \quad (8)$$

В качестве примера на рис. 1 представлено изменение температуры стенки регенератора рассчитанное по уравнениям (7) и (8) при  $Z_1 = 0,8$  и  $Z_2 = 1,8$  (рис. 1а) и при  $Z_1 = 1,8$  и  $Z_2 = 0,8$  (рис. 1б). Оба графика построены при средних температурах горячего и холодного теплоносителей равных, соответственно,  $t_{ж1} = 10^\circ\text{C}$  и  $t_{ж2} = -12^\circ\text{C}$ . Заметим, что в рассматриваемом случае поля температур в обеих зонах (зонах нагрева и охлаждения) нелинейны.





**Рис. 1. Изменение температуры стенки в регенераторе**

Средние (среднеинтегральные) по времени значения температур стенок в каждой из зон (каналов) определяются как

$$\langle t_1 \rangle = \frac{1}{Z_1} \int_0^{Z_1} t_1 dZ_1; \quad \langle t_2 \rangle = \frac{1}{Z_2} \int_0^{Z_2} t_2 dZ_2$$

Выполнив операции интегрирования с использованием формул (7) и (8), получим

$$t_{жк1} - \langle t_1 \rangle = (t_{жк1} - t_{жк2}) \frac{(1 - \exp(-Z_1))(1 - \exp(-Z_2))}{Z_1(1 - \exp[-(Z_1 + Z_2)])} \quad (9)$$

$$\langle t_2 \rangle - t_{жк2} = (t_{жк1} - t_{жк2}) \frac{(1 - \exp(-Z_1))(1 - \exp(-Z_2))}{Z_2(1 - \exp[-(Z_1 + Z_2)])} \quad (10)$$

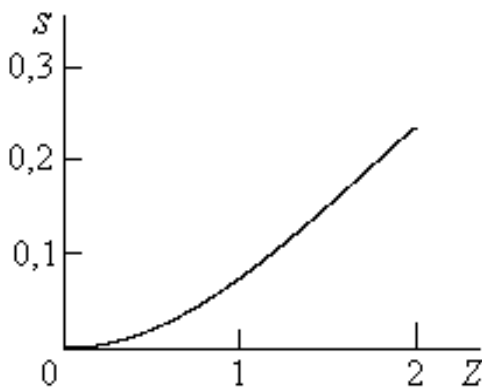
На основании этих формул можно представить разность температур стенки в обеих зонах в виде

$$\langle t_1 \rangle - \langle t_2 \rangle = (t_{жк1} - t_{жк2}) \cdot s \quad (11)$$

где параметр  $s$  определяется соотношением

$$s = 1 - \frac{(1 - \exp(-Z_1))(1 - \exp(-Z_2))}{(1 - \exp[-(Z_1 + Z_2)])} \left( \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) \quad (12)$$

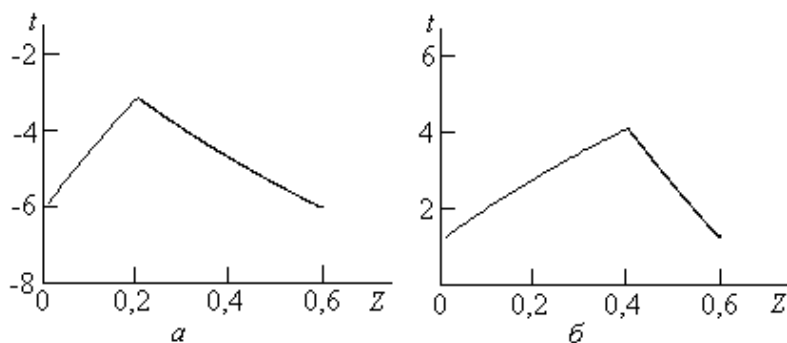
Зависимость  $s(Z)$ , построенная по уравнению (12) для случая  $Z_1 = Z_2 = Z$ , представлена на рис. 2.



**Рис. 2. Зависимость  $s(Z)$**

При высокой частоте вращения барабана и при низком коэффициенте теплоотдачи значения параметров  $Z_i$  малы, как следует из уравнения (3). В пределе, при  $Z_i \rightarrow 0$ , величина  $s \rightarrow 0$  и различие в значениях температур стенки на стадиях нагрева и охлаждения исчезает. Это обстоятельство иллюстрируется также графиками рис. 3, построенными при относительно малых значениях  $Z_i$ . Эти графики построены при тех же средних температурах теплоносителей, что и графики рис. 1. График рис. 3а построен при  $Z_1 = 0,2$  и  $Z_2 = 0,4$ , а график рис. 3б – при  $Z_1 = 0,4$  и  $Z_2 = 0,2$ .

Температурные кривые на этих графиках практически линейны, так что средние температуры стенки в зонах нагрева и охлаждения совпадают.



**Рис. 3. Температура стенки регенератора при малых  $Z$**

Воспользуемся законами теплоотдачи Ньютона-Рихмана в обеих зонах

$$Q = \alpha_1 (t_{жс1} - \langle t_1 \rangle) F_1; \quad Q = \alpha_2 (\langle t_2 \rangle - t_{жс2}) F_2 \quad (13)$$

Исключая значения температур стенок из уравнений (13) при помощи уравнения (11), получим

$$Q = \frac{t_{жс1} - t_{жс2}}{\frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_2} + \left( \frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{1}{\alpha_2 F_2} \right) \frac{s}{1-s}} \cdot F \quad (14)$$

Стоящая в числителе (14) разность среднеинтегральных температур, как уже отмечалось выше, совпадает со среднеинтегральным температурным напором [2]. В целом уравнение (14) совпадет с известным уравнением теплопередачи рекуператора, если величину, обратную знаменателю в этом уравнении, отождествить с коэффициентом теплопередачи  $k$

$$k = \frac{1}{\frac{F}{\alpha_1 F_1} + \frac{F}{\alpha_2 F_2} + \left( \frac{F}{\alpha_1 F_1} + \frac{F}{\alpha_2 F_2} \right) \frac{s}{1-s}} \equiv \frac{1}{\left( \frac{F}{\alpha_1 F_1} + \frac{F}{\alpha_2 F_2} \right) \frac{1}{1-s}} \quad (15)$$

Величину  $(F/\alpha_1 F_1 + F/\alpha_2 F_2) \cdot s/(1-s)$  в знаменателе уравнения (15) можно рассматривать как динамическое сопротивление стенки регенератора, зависящее от частоты вращения барабана. С ростом частоты вращения регенератора эта величина уменьшается и может стать пренебрежимо малой при больших частотах. В практических расчетах можно считать, что динамическим сопротивлением можно пренебречь при  $Z_i < 0,3$ . Таким образом, как и в эмпирической поправке [1] с ростом частоты вращения регенератора ее влияние вырождается, но в отличие от рекомендаций [1] влияние теплоемкости теплоносителей не проявляется.

Представленные уравнения могут быть использованы при проведении как конструктивного, так и поверочного расчетов вращающегося регенератора. Уравнение теплового баланса регенератора имеет тот же вид, что и для рекуператора.

При проведении поверочного расчета после определения по формуле (15) величины коэффициента теплопередачи рассчитывается число единиц переноса  $N_{\bar{\theta}} = kF/(Gc)_m$  [1, 2]. Затем по одному из уравнений для прямо- или противотока [2] находится величина эффективности теплообменника  $E$ . Используя определение эффективности [1, 2], рассчитывается поток теплоты  $Q$ , а по уравнению теплового баланса находятся значения температур теплоносителей на выходе из теплообменника.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кейс В.М., Лондон А.А. Компактные теплообменники. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962, 337 с.
2. Корнюхин И.П. Тепломассообмен в теплотехнике текстильных производств. М.: Совьяж Бево, 2004, 597 с.

УДК 536.24

**ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕТАМАТЕРИАЛАХ**  
**HEAT TRANSFER IN THE NANOMODIFIED METAMATERIALS**

**Татьяна Владимировна Цыганова\***, **Ростислав Иванович Соколовский\*\***,  
**Анатолий Иванович Федосеев\*\*\***, **Александр Викторович Уваров\*\*\***  
**Tatyana V. Tsyganova\***, **Rostislav I. Sokolovsky\*\***,  
**Anatoly I. Fedoseev\*\*\***, **Aleksandr V. Uvarov\*\*\***

*\*Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и фотоника»  
РАН, Россия, Москва*

*\*Shubnikov Institute of Crystallography of Federal Scientific Research Centre “Crystallography  
and Photonics” of Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow  
(e-mail: tvts1@mail.ru)*

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

*\*\*The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow  
(e-mail: falke\_su@mail.ru)*

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

*\*\*\*M.V.Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow  
(e-mail: fedoseev362@mail.ru uvarov@phys.msu.ru)*

*Аннотация:* Приведены результаты экспериментальных температурных исследований наномодифицированных метаматериалов, использование которых делает возможным управлять теплофизическими параметрами текстильных материалов.

*Abstract:* Results of experimental temperature studies of the nanomodified metamaterials which use does possible to operate heatphysical parameters of textile materials are given.

*Ключевые слова:* наномодифицированные метаматериалы, структурированные поверхности, теплопередача.

*Keywords:* nanomodified metamaterials, structured surfaces, heat transfer.

В последние годы в материаловедении возникло новое научное направление, связанное с созданием, исследованием и применением нового класса материалов, обладающих свойствами, которых нет у традиционных материалов. Открылись возможности технической реализации ситуаций, которые ранее фигурировали лишь в народных сказках и в произведениях писателей фантастов. Эти материалы получили название метаматериалов. Метаматериалы не существуют в природе. Это типично рукотворные объекты, которые за счет целенаправленного преобразования их структуры позволяют управлять свойствами, обусловленными взаимодействиями с электромагнитным полем. Одним из примеров необычных свойств метаматериалов можно назвать отрицательный показатель преломления света, связанный с отрицательностью одновременно как диэлектрической, так и магнитной проницаемостей. Еще в 1967 г. В. Г. Веселаго в работе [1] теоретически обосновал возможность создания в веществе отрицательного коэффициента преломления. Выпуклая и вогнутая линзы, изготовленные из такого материала, «поменялись бы местами», т.е. выпуклая линза стала бы рассеивающей, а вогнутая - собирающей. Получение и использование таких метаматериалов, в отличие от обычных материалов, открывает возможность управлять потоком электромагнитного излучения, направляя его в определенную точку; либо вынуждая огибать предметы, делая их «невидимыми» [2] или, напротив, создавая иллюзию отсутствия реального объекта [3].

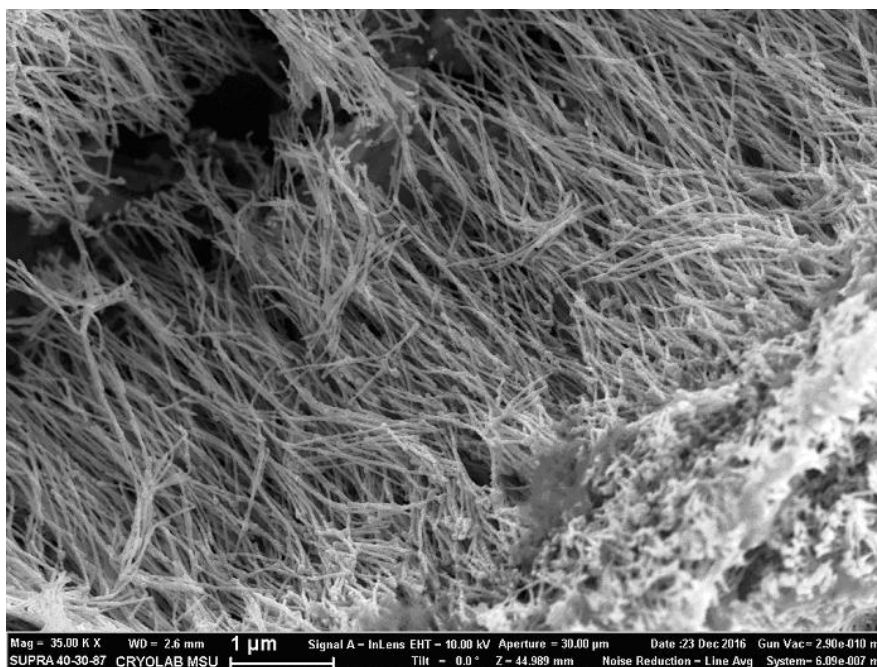
Использование технологий создания на поверхности обычных материалов определенных наноструктур, составляющих ничтожную часть суммарной массы,

преобразует их в метаматериалы, оптические и теплофизические свойства которых, как будет показано экспериментально ниже, радикально меняются. В результате открываются недоступные ранее возможности создания принципиально новых конструкционных и текстильных материалов, которые, как мы полагаем, найдут широкое применение в легкой промышленности.

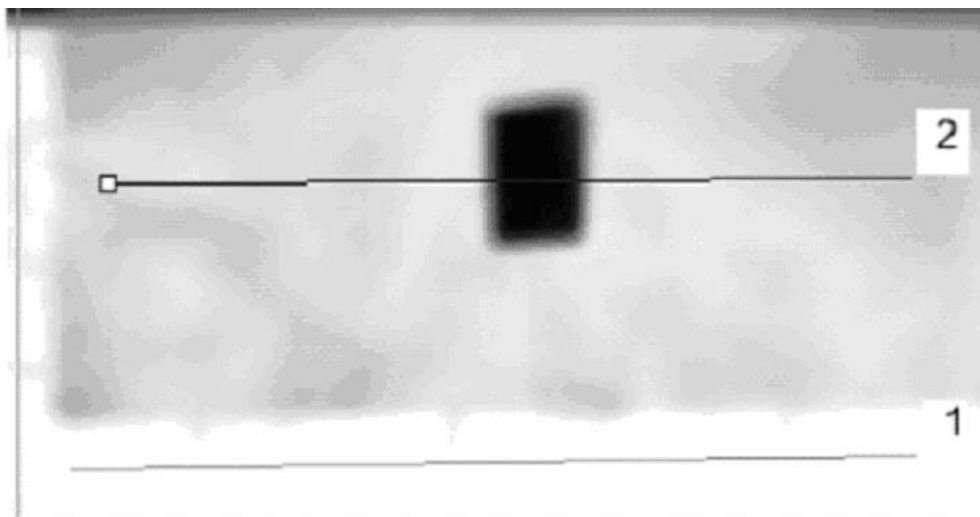
Теплообмен человеческого тела с окружающей средой происходит через пакет одежды. Тепловой поток состоит из двух составляющих: конвекции и излучения. Для твердой нагретой поверхности до температуры порядка  $40^{\circ}\text{C}$  их величины от этой поверхности в окружающую среду одного порядка. Для тела, покрытого одеждой, эти потоки после одежды различны. В силу различия их физической природы они могут подавляться включенными в одежду специальными элементами по отдельности. В частности, металл (в данном случае медь) в виде наночастиц, которые перекрывают поток, оказывает достаточно сильное влияние на радиационную составляющую теплового потока, уменьшая его вклад в общие потери тепла организмом.

В качестве объекта, моделирующего организм, была выбрана массивная медная пластина, температура которой поддерживалась равной  $50^{\circ}\text{C}$ . На ней располагалась подложка из шерстяной ткани толщиной 0,3 мм со степенью черноты  $\varepsilon = 0,9$ . На подложку помещался плоский образец метаматериала в виде металлической медной фольги, имеющей на одной из ее поверхностей систему наноструктур в виде цилиндров диаметром около 30 нм и высотой 5 мкм, расположенных перпендикулярно поверхности (рис. 1).

При проведении измерений образец поочередно помещался на подложку из ткани сначала структурированной стороной вверх, затем структурированной стороной вниз – к поверхности ткани (рис.2). Температура поверхностей указанных объектов, помещенных на массивную медную пластину, контролировалась с помощью тепловизора FLIR SC7700, работающего в диапазоне 3,7 – 4,8 мкм, и регистрировалась на экране монитора в динамическом режиме в течение 500 секунд. Температура окружающей среды была равна комнатной.

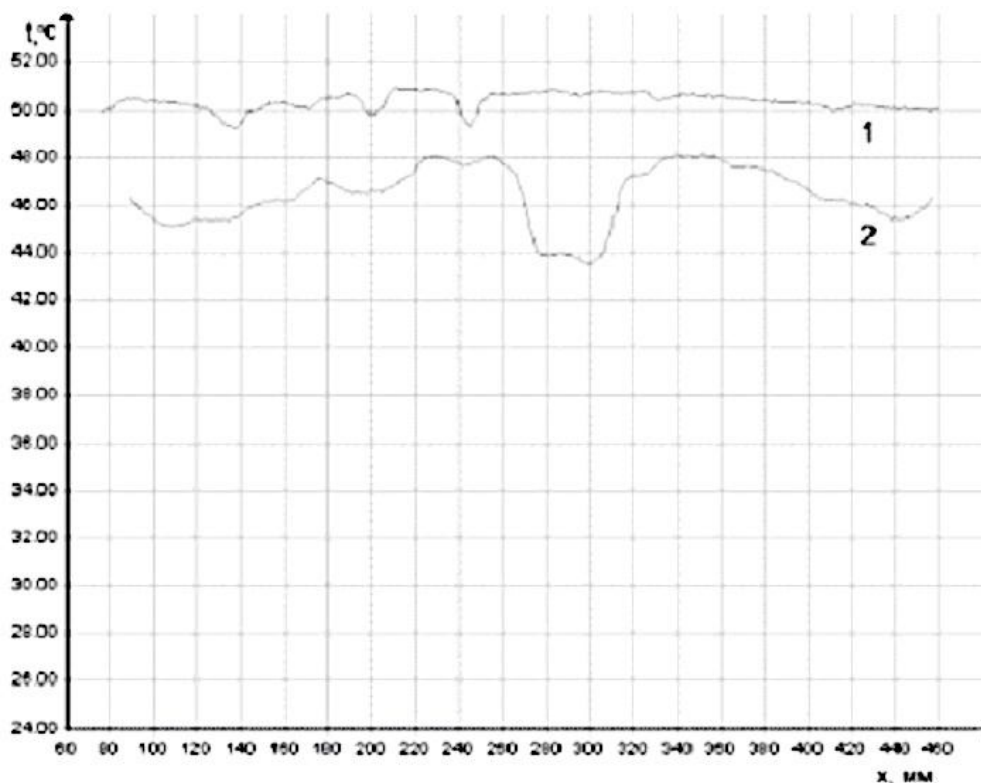


**Рис.1. Микрофотография поверхности наномодифицированного метаматериала, выполненная с помощью электронного сканирующего микроскопа Carl Zeiss Supra 40-30-87 в лаборатории «Криоэлектроника» МГУ им. М.В.Ломоносова.**

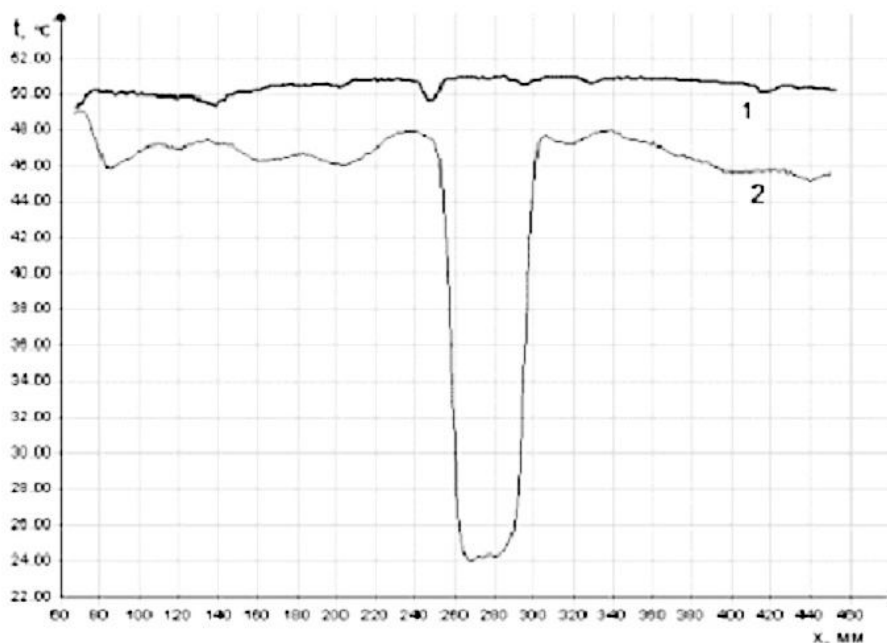


**Рис. 2. Поверхность медной пластины, на которой находится подложка из ткани с расположенным на ней образцом наномодифицированного метаматериала (темный прямоугольник).**

На рис. 3(а,б) изображены графики зависимости температуры (в момент 500-ой секунды) от местоположения точек на прямых линиях 1 и 2, приведенных на рис.2, вдоль которых проводилось сканирование температуры.



**Рис. 3.а)**



б)

**Рис. 3. Зависимость температуры от местоположения точек сканирования. а) образец наномодифицированного метаматериала помещен структурированной стороной вверх; б) образец помещен структурированной стороной на поверхность ткани.**

Из рисунков 2 и 3 видно, что температура поверхности ткани на  $3^{\circ}\text{C}$  ниже температуры массивной подложки, что объясняется ее обычным тепловым сопротивлением. Температура внешней поверхности металлической фольги зависит от ее расположения по отношению к ткани. Она на  $20^{\circ}\text{C}$  ниже в том случае, когда прилегает к поверхности ткани структурированной (модифицированной) стороной (рис.3б) по сравнению с тем, когда она располагается структурированной стороной вверх (рис.3а).

Из проведенных экспериментальных исследований следует, что измеряемая с помощью тепловизора радиационная составляющая теплового потока зависит от ориентации образца, содержащего наноструктурированную поверхность. Ее величина меняется в широких пределах вплоть до ее полного подавления. Установленная закономерность открывает принципиально новые возможности создания композиционных теплоизоляционных материалов, основанных на использовании нанотехнологий в текстильной и легкой промышленности

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Веселаго В.Г.* Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями  $\epsilon$  и  $\mu$  // *Успехи физических наук.* 1967. Т. 92. № 3. С. 517.
2. *Smith D.R., Padilla W.J., Vier D.C., Nemat-Nasser S.C., Schultz S.* Composite Medium with Simultaneously Negative Permeability and Permittivity // *Phys. Rev. Lett.* 2000. V. 84. P. 4184.
3. *Li C., Meng X., Liu X.* Experimental Realization of a Circuit-Based Broadband Illusion-Optics Analogue // *Phys. Rev. Lett.* 2010. V. 105. № 23. P. 233906.

УДК 534.8:66.084.8

**УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ С ДИСПЕРСИОННОЙ ЖИДКОЙ СРЕДОЙ**  
**ULTRASONIC DEVICES FOR INTENSIFICATION OF PROCESSES IN SYSTEMS WITH DISPERSION LIQUID MEDIUM**

**Владимир Николаевич Хмелев \*, Сергей Николаевич Цыганок\*, Роман Владиславович Барсуков\*, Максим Владимирович Хмелев\*\***  
**Vladimir N. Khmelev\*, Sergey N. Tsyganok\*, Roman V. Barsukov\*, Maxim V. Khmelev\*\***

*\* Бийский технологический институт, Россия, Бийск*

*\* Biysk Technological Institute, Russia, Biysk*

*(e-mail: grey@bti.secna.ru)*

*\*\* ООО «Центр ультразвуковых технологий», Россия, Бийск*

*\*\* LLC Center of ultrasound technologies, Russia, Biysk*

*(e-mail: maxx@bti.secna.ru)*

*Аннотация:* Рассмотрено современное российское ультразвуковое технологическое оборудование для кавитационной обработки систем с дисперсионной жидкой средой, которое может применяться как для проведения научных исследований, так и для реализации промышленного производства.

*Abstract:* The modern Russian ultrasonic technological equipment for cavitation processing of systems with a dispersion liquid medium, which can be used both for scientific research and for industrial production, is considered.

*Ключевые слова:* ультразвуковое воздействие, кавитация, ультразвук высокой интенсивности, интенсификация технологических процессов.

*Keywords:* ultrasonic action, cavitation, powerful ultrasound, intensification of technological processes.

Реализация химико-технологических процессов в различных средах, как на этапе проведения научных исследований при создании новых технологий, так и при организации серийных крупномасштабных производств, требует мощнейших энергетических воздействий. Одним из наиболее эффективных способов реализации энергетических воздействий, обеспечивающих изменение структуры и свойств материальных сред, является воздействие механическими колебаниями ультразвуковой частоты высокой интенсивности.

Уникальность и эффективность ультразвукового воздействия на системы с дисперсионной жидкой средой обусловлена формированием в жидкости кавитационных парогазовых пузырьков, накапливающих энергию при их расширении и образующих ударные волны и кумулятивные струи при сжатии. Энергетическое воздействие этого процесса в режиме развитой кавитации (10-30 Вт/см<sup>2</sup>) столь велико, что позволяет разрушать твердые вещества и границы разделов, увеличивать межфазную поверхность взаимодействия, ускорять массообменные процессы: растворение, экстракция, диспергирование, эмульгирование, дегазация, абсорбция и т.п. [1-4].

Реализация новых подходов к проектированию электронных устройств и современные разработки пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем [5] позволили лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института, совместно с ООО «Центр ультразвуковых технологий» разработать высокоэффективные ультразвуковые аппараты различной мощности для интенсификации и ускорения широкого круга технологических процессов, реализуемых в различных средах (жидких, жидко-дисперсных, твердых (полимерных) и др.) и при различных условиях (повышенных температурах, давлениях, в агрессивных средах и т.п.) [6].

В основу создаваемого оборудования положена новая конструктивная схема

ультразвукового аппарата, включающего в свой состав информационно-измерительную и управляющую системы, обеспечивающие оптимизацию воздействия за счет непрерывного контроля процесса. Непрерывный контроль физических характеристик обрабатываемых сред в различных состояниях (в том числе и в кавитирующем состоянии на различных стадиях развития кавитационного процесса), объёмного содержания кавитационных пузырьков, удельного энергетического воздействия ударных волн при схлопывании кавитационных пузырьков, а также предложенные авторами способы управления различными процессами позволяют обеспечивать установление и поддержание в автоматическом режиме режимов и условий оптимального ультразвукового воздействия.

Для лабораторных исследований технологических процессов в малых объемах создано специализированное оборудование, способное обеспечить кавитационную обработку жидких сред ультразвуковыми колебаниями с интенсивностью от 1 до 100 Вт/см<sup>2</sup> на частотах от 20 до 100 кГц (рис. 1).



**Рис. 1. Ультразвуковое оборудование для лабораторных исследований**

Функциональные возможности аппаратов позволяют реализовать широчайший спектр проводимых исследований в объемах от 10 мл до 1000 мл.

Для осуществления ультразвукового воздействия в условиях, отличающихся от нормальных, в конструкции колебательной системы используются специальные материалы, системы крепления и охлаждения, что позволяет реализовать технологические процессы в агрессивных средах, под высоким давлением (до 25 атм.) и при повышенной (до 1000 °С) температуре обрабатываемой среды (рис. 2).



**Рис. 2. Ультразвуковое оборудование кавитационной обработки жидких сред**

Несмотря на широкий диапазон изменения параметров ультразвукового воздействия, большинство технологий реализуются на частоте  $20 \pm 2$  кГц при интенсивности 10-15 Вт/см<sup>2</sup>



и объемной плотности акустической мощности около 200 Вт/л. При этом, одновременно обрабатываемый объем технологической среды не превышает одного литра. Тогда полученные результаты на маломощных аппаратах (режимы и условия воздействия) должны однозначно переноситься на применение аппаратов большей мощности.

Для увеличения акустической мощности, выводимой в обрабатываемую среду, и обеспечения тиражируемости результатов используется многополуволновой рабочий инструмент в виде стержня переменного сечения из титанового сплава, в пучностях которого выполнены утолщения заданной геометрической формы. Пример такого ультразвукового оборудования, которое осуществляет ультразвуковое воздействие на частотах 18-22 кГц с интенсивностью излучения не менее 10 Вт/см<sup>2</sup>, приведен на рис. 3. Это ультразвуковые технологические аппараты серии «БУЛАВА» модели УЗТА-2/18-О, УЗТА-3/22-О и УЗТА-8/22-О.



**Рис. 3. Ультразвуковое оборудование с многополуволновым рабочим инструментом**

Для сохранения объемной плотности энергии (не менее 200 Вт/л) ультразвуковое технологическое оборудование (приведенное на рис. 4) комплектуется специальными проточными технологическими реакторами, одновременно обрабатываемый объем которых составляет 2, 3, 7 или 15 литров, соответственно. Это ультразвуковые технологические аппараты серии «БУЛАВА-П» модели УЗАП-2/18-ОП, УЗАП-3/22-ОПг, УЗАП-8/22-ОПг или УЗАП-10/18-ОПг



**Рис. 4. Промышленное ультразвуковое оборудование**

Для обеспечения требуемой производительности (при нехватке одного из аппаратов), ультразвуковые аппараты серии «БУЛАВА-П» могут устанавливаться в виде каскада

(последовательно или параллельно) до 8 штук. Для этих целей их электронные генераторы комплектуются соответствующими интерфейсными разъемами (например, по протоколу RS-485).

В заключение статьи следует отметить, что приведенная информация позволяет осуществить выбор ультразвукового технологического аппарата для проведения предварительных исследований, выявления оптимальных режимов и условий ультразвукового воздействия для обеспечения максимальной эффективности и производительности реализуемых процессов.

Созданное ультразвуковое оборудование может стать новым рабочим высокоэффективным инструментарием различных отраслей промышленности и обеспечить дальнейшее развитие и совершенствование существующих и создание новых технологических процессов и продуктов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Хмелев В.Н., Попова О.В.* Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве. Барнаул, Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 1997 – 173 с.

2. *Хмелев В.Н., Леонов Г.В., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Шалунов А.В.* Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007. – 400 с.

3. *Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Барсуков Р.В., Сливин А.Н., Цыганок С.Н.* Применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности в промышленности. Барнаул: АлтГТУ, 2010. – 200 с.

4. *Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Шалунова А.В.* Ультразвук. Распыление жидкостей. Барнаул: АлтГТУ, 2017. – 271 с.

5. *Хмелев В.Н., Хмелев С.С., Цыганок С.Н., Левин С.В.* Источники ультразвукового воздействия: особенности построения и конструкции. Барнаул: АлтГТУ, 2013. – 195 с.

6. *Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Хмелев С.С., Цыганок С.Н.* Ультразвук. Аппараты и технологии. Барнаул, 2015. – 667 с.

УДК 687.053

**О ФОРМИРОВАНИИ ПРОСВЕЩЁННОГО РАЗВИТИЯ ИНДУСТРИИ  
СТРОИТЕЛЬСТВА НА РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ  
ON THE FORMATION OF THE ENLIGHTENED DEVELOPMENT OF THE INDUSTRY  
OF CONSTRUCTION ON RECREATIONAL LANDS**

**Александр Станиславович Ермаков  
Alexander S. Ermakov**

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный  
университет - НИУ-МГСУ, Россия, Москва  
National Research Moscow State University of Civil Engineering – Russia, Moscow  
(e-mail: tkei2011@yandex.ru)*

*Аннотация:* На смену массовому устойчивому развитию индустрии строительства при освоении рекреационных территорий вокруг мегаполисов, входит рациональное построение потребительского качества сооружений с учетом культурных, исторических и других, принятых для общества парадигм развития. Просвещённое развитие индустрии строительства соответствует национальным предпочтениям с учетом традиций и передовых достижений в использовании материалов, архитектурно-проектных решений, производственных технологий и климатических возможностей с минимальным ущербом для окружающей среды. Его выполнение предполагает совершенствование и введение локально-нормативного регулирования с реализацией инновационных решений и освещение ценностных культурных ориентиров и приоритетов через профессиональное образование и их пропаганду в средствах массовой информации.

*Abstract:* In place of sustainable development in the building industry during the development of the recreational areas around cities, is a rational consumer build quality structures, taking into account cultural, historical and other, taken for the society of development paradigms. Enlightened development of the industry of construction in line with national preferences with respect to the tradition and the latest achievements in the use of materials, architectural design solutions, manufacturing technologies and climate opportunities with minimal damage to the environment. Its implementation involves the improvement and introduction of local regulatory control with the implementation of innovative solutions and lighting cultural value orientations and priorities through professional education and propaganda in the media.

*Ключевые слова:* техническое регулирование, инновации, устойчивое строительство.

*Keywords:* technical regulation, innovation, sustainable construction

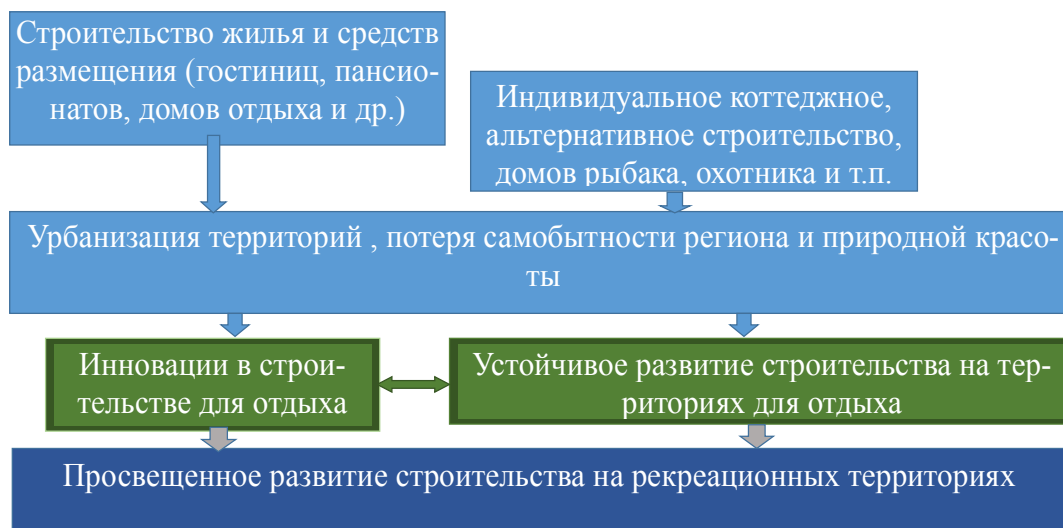
Современное развитие индустрии строительства в конкурентной среде требует развития и повышения уровня качества его продукции [4]. В потребительском качестве важной оценкой является уровень соответствия строительной продукции пожеланиям потребителей. Развитие индивидуального коттеджного строительства в России породило множество оригинальных архитектурно-строительных решений как для индивидуального жилищного строительства, так и при строительстве жилья для временного проживания отдыхающих на рекреационных природных территориях (дома отдыха, кемпинги, дома рыбака и прочее). При выработке их проектных решений учитываются соблюдения требований к его конструктивно-технологическому исполнению, регулируемых как на федеральном уровне, отраслевом и региональном уровнях, так и требованиями его потребителей. Однако данный подход урбанизации окружающих мегаполисы территорий приводит к потере рекреационных их возможностей, природных и культурно-исторических аттракций [5] и прочим ущербам. Развиваемое устойчивое строительство не в полной мере решает данную проблему, т.к. не учитывает реального оперативного состояния на местах экологии, ресурсосбережения, гармонизации различных требований представителей

общества и др., особенно для территорий с большими массовыми сезонными потоками путешествующих [6]. Каждый день из больших городов на рекреационные территории въезжает на автомобилях огромное количество населения, что не только затрудняет транспортные коммуникации как в городе, так и на подъезде к нему, но и усложняет экологическую обстановку за счет загрязнения окружающей среды отходами работы автомобилей и посетителей. Также пренебрежение культурно-историческими и природным наследием малой Родины приводит к его потере.

Поэтому создание просвещенного развития строительства, учитывающего законодательно-нормативные требования, потребительские предпочтения, формирование особого имиджа территории с учетом традиций и культуры народов, а также формирование и пропаганда через средства массовой информации [4] ее общего развития, как гармоничное сосуществование инновационного и традиционного пути развития территории с учетом сохранения ее рекреационного потенциала и потенциала ее аттракций является актуальным.

Формирование нового имиджа территорий и подходам по их сохранению на них существующих аттракций требует просвещение населения о важности соблюдения определенных правил общежития, сохранения существующих и важных для местного населения аттракций, бережного к ним отношения и т.п. Сохранение и уважительного отношения к жизни населения на рекреационных территориях должно учитываться местными органами самоуправления при выдаче разрешений на строительство.

На формирование потребительского качества строительной продукции на рекреационных территориях вокруг больших городов влияют не только возросшие требования в качественном оригинальном индивидуальном жилье, но также - соблюдение законодательно-нормативных документов: законов, стандартов, строительных норм и правил, проектно-конструкторско-технологических решений [8, 9]. Важным современным направлением просвещенного развития строительства на данных территориях является применение современных инновационных технологий (рис.1) с высокопроизводительной технологией с возможностью быстрой и качественной оценкой выполнения работ и их адаптации под реальные условия применения с последующими диагностикой и мониторингом. В этих случаях возникает необходимость в формализованных моделях не только зданий и сооружений, но и территорий и их учета в интегрированных системах качества и комплексной безопасности рекреационных территорий.



**Рис. 1. Схема просвещенного развития строительства на рекреационных территориях**

На территориях для сезонного отдыха и туризма необходимо применение особых строительных решений, таких как применение мобильного жилья [11], сборно-разборных сооружений с наличием энергоэффективных и экологических решений по ним. Эти сезонные сооружения для отдыха позволяют проводить культурно-массовые, спортивно-

оздоровительные или другие мероприятия событийного туризма без особого техногенного воздействия на окружающую среду [10, 11].

Для оценки просвещенного развития строительства на территории для отдыха и восстановления здоровья необходимо иметь обоснованные критерии:

- оптимизации потока отдыхающих с учетом расхода рекреационных ресурсов территорий и величины ее потенциала и учет их при перспективном планировании развитии территории;

- минимизация расхода ресурсов аттракций, топлива, воды, энергии и др.;

- гармонизация строительных объектов как по отношению к окружающей среде, так и по отношению к ее потребителям и другие.

Расчет уровня строительства для рекреационных территорий учитывает общую численность ее посетителей  $W$ , которую может обеспечить ресурсный потенциал территорий и его возможность к самовосстановлению. Поэтому перед разработкой генерального плана строительства на рекреационной территории необходимо провести исследования ее потенциала и возможностей, включая природный ее потенциал, культурно-исторический и прочее, а также наличие существующих инженерно-транспортных коммуникаций, существующих функционирующих или заброшенных строений и жилых домов и др.

Рациональная локализация объектов строительных сооружений для обслуживания населения и туристов территории [1], которая может быть оценена по критерию

$$D = \prod_{l=1}^E t_l; t_l \in M^T \text{ при } (A_l \cdot K_l \cdot B_l) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $D$  – рациональные  $E$ -е количество вариантов локализации жилищного, сервисного и сезонного строительных объектов с учетом комфорта и доступности (в том числе и транспортной доступности) и безопасности (экологической, пожарной, энергетической),  $l=1 \dots E$ ,  $t_l$  - координаты  $l$ -й рациональной точки размещения объекта в выбранном пространстве региона,  $A_l$  - аттракции для  $l$ -й рациональной точки размещения объектов,  $B_l$  – оценка уровня безопасности для  $l$ -й рациональной точки размещения объектов,  $K_l$  — оценка комфортного расположения (в том числе и с учетом транспортной доступности) и функционирования для  $l$ -й рациональной точки размещения объекта.

По результатам рациональной локализации строительных объектов по критерию  $D$  (1) на рекреационной территории устанавливается оптимальный вариант их расположения, обеспечивающий минимальные издержки на посещение сервисных, жилищных и аттракций объектов с обеспечением сохранности ресурсов и безопасной их использования.

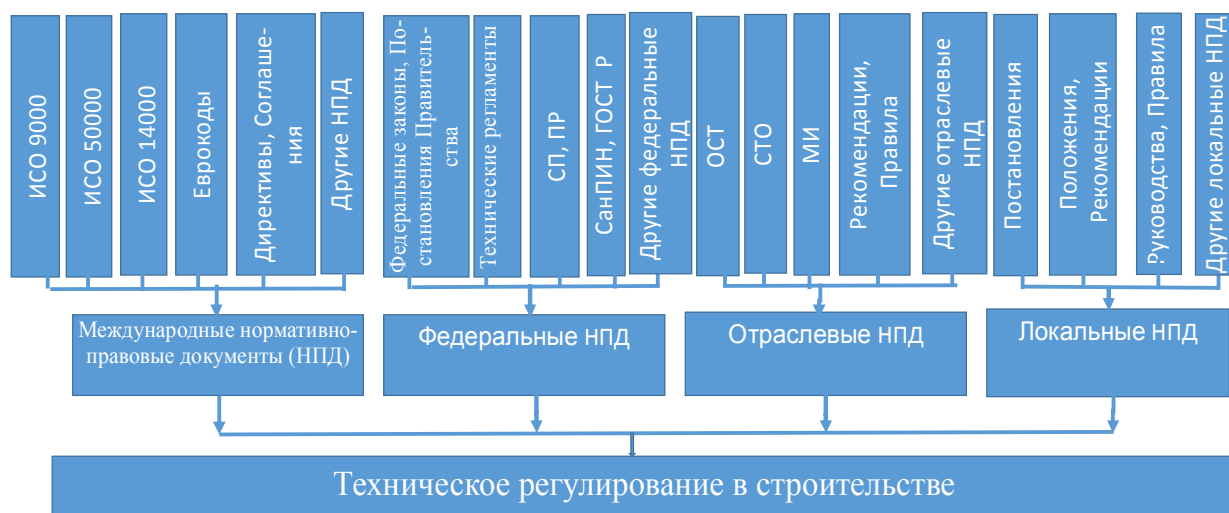
Возможно применение экономически малозатратного решения по строительным сооружениям через использование мобильного жилья [11]. На местном законодательном уровне при длительном сроке пребывания устанавливаются рациональные нормы регулирования между владельцем такого мобильного дома и местными администрациями территорий (локальные нормативно-правовые документы – см. рис.2).

В Российской Федерации при наличии существенных природно-климатических и культурно-традиционных различий невозможно очень важно учитывать все эти особенности регионов.

Очень важным в становлении просвещенного вида строительства отводится осознанию потребителями важности соблюдения принятых для него принципов как устойчивого развития, так и обеспечение:

- открытости, когда все решения по строительству объектов, их эксплуатации и перспективе развития территории открыты и доступны для населения;

- социальности, решающей социальные противоречия в обществе, сохранение традиций и долгосрочного развития общества, с возможностью участия в его развитии как местного населения, так и приезжего с соблюдением ими принятых для данной территорий норм общежития;



**Рис. 2. Техническое регулирование строительства на рекреационных территориях**

- системности, при котором каждый строительный объект является составной частью территории качественного проживания населения с устойчивым ее развитием;
- технологичности, с комбинированием эффективности технологического процесса и уровня производительности труда с себестоимостью и качеством строительной продукции [7];
- прогнозируемости, когда мониторинг и диагностика и оценка рисков строительной системы позволяет оперативно выполнять оценку уровня риска и исключать дефекты и сбои в ней;
- гуманности, обеспечение в строительных сооружениях доброго и внимательного отношения к человеку (без барьерная среда и культурно-историческое его наследие), а также к животному миру (условия обитания).
- эстетичности, когда территория имеет квалифицированно-спроектированное художественно-конструктивное архитектурно-ландшафтное решение как через внешний вид зданий, сооружений и экстерьеров в соответствии с проектными решениями проведения строительно-монтажных и других работ, выбором источников освещения, санитарно-технического оборудования с минимизацией бытовых отходов и необходимости их переработки (реализуя принципы зеленых стандартов в строительстве);
- органичности, когда архитектурно-строительные сооружения органично включаются в окружающую природную и культурную и социальную среды;
- бережливости, когда минимизируется не только финансово-экономические затраты из расчета на всем жизненном цикле строительного комплекса, но и бережного отношения к культурно-историческим и природным аттракциям даже местного значения и др.

Просвещенное строительство требует совершенствования кадрового обеспечения строительной отрасли [3, 12], учитывающего в своей работе принципы просвещенного строительства

Предложенный подход к развитию строительной отрасли позволит создать более долгосрочную перспективу развития территорий, а значит и - экономически успешную перспективу развития страны с высоким уровнем качеством жизни ее населения. Вероятно, для получения просвещенного развития строительства будет необходима реализация следующих мероприятий:

- масштабная пропаганда нового подхода к строительству и землепользованию, а именно развития просвещенного строительства;
- реурбанизация (оптимизация) – уплотнение с учетом устойчивого развития и в соответствии с ресурсами территории (например: рациональная локализация по критерию  $D$

(1)), а также - на основании принятых генеральных планов развития территории (туристской дестинации);

- осознанное ограничение в потреблении, формирование потребительской культуры;
- формирование самобытного имиджа рекреационных и урбанизированных территорий, с учетом органичного включения строительных объектов в существующую окружающую среду;
- комплексное обеспечение просвещенного развития строительства от исследования различного вида ресурсов территории до их мониторинга строительных сооружений и диагностики влияния на окружающую среду;
- техническое регулирование просвещенного строительства с учетом применения региональных и локальных нормативно-законодательных актов по строительству, принятыми органами самоуправления;
- развитие инноваций в строительстве мобильного жилья и инфраструктуры его обслуживания и другое.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Cherepanov D.A., Ermakov A.S.*, Lokalizatsiya pozharobezopasnogo i komfortnogo kempinga (Localization of fireproof and comfortable camping). «Pozharovzryvobezopasnost» («Fire and Explosion Safety»), no. 7, pp.48-57. (In Russ) DOI: 10.18322/PVB.2016.25.07.48-57. (2016)
2. *Gulben Calis, Merve Kuru.* Assessing user thermal sensation in the Aegean region against standards// Sustainable Cities and Society, Volume 29, February 2017, Pages 77–85- URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.11.013> <19.01.2017>
3. *Kramarova T. Y., Yakunin V. N., Alexeyeva N. D., Ovsyannikov V. P.* Fundamentals of design of the occupational retraining programs on the basis of in-terdisciplinary integration // International Business Management. 2015. Vol. 9. No. 6. P. 1097-1101. <19.01.2017>
4. *Nnaemeka Madumere.* Public enlightenment and participation – A major contribution in mitigating climate change // International Journal of Sustainable Built Environment Available online 29 October 2016, URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijse.2016.10.003> <19.01.2017>
5. *Vivian W.Y. Tam, Ivan W.H. Fung, Michael C.P. Sing.* Adaptive reuse in sustainable development: An empirical study of a Lui Seng Chun building in Hong Kong// Renewable and Sustainable Energy Reviews V. 65, November 2016, p. 635–642 - URL:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.014> <19.01.2017>
6. *Weaver, D.* Asymmetrical dialectics of sustainable tourism: Toward enlightened mass tourism. Journal of Travel Research, 53, 131-140. DOI: 10,1177 / 0047287513491335 <19.01.2017>
7. *Y. Chen, G.E. Okudan, D.R. Riley.* Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings// Automation Constr., 19 (2) (2010), pp. 235–244 URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.10.004> <19.01.2017>
8. *Большеротов, А. Л.* Оценка опосредованного воздействия строительства на окружающую среду // Жилищное строительство. - N 6. (2011) - С. 47-51.
9. *Теличенко В. И.* Экологическая безопасность строительства: учеб. для вузов / В. И. Теличенко и др. - Моск. гос. строит. ун-т. - М. : Архитектура-С, (2009). - 311 с. : ил.
10. *Ермаков А.С., Корнеев А.А., Руднева М.Я.* К вопросу о развитии устойчивого автотуризма в России. Сервис в России и за рубежом. № 7 (54). (2014) -С. 87-97. DOI: 10.12737/7470
11. *Ермаков А.С., Кохреидзе М.В., Черепанов Д.А.* Организационно-инженерное обеспечение событийного туризма в центральном федеральном округе / - Современные проблемы сервиса и туризма. Т. 9. № 3. (2015) с. 69-75. DOI: 10.12737/12884
12. *Зворыкина Т.И., Ермаков А.С., Мухамеджанова О.Г., Томохова И.Н.* Методический подход к оценке и сертификации квалификации персонала в сфере сервиса. / Вестник Ассоциации ВУЗов туризма и сервиса. № 4 (23). (2012) С. 62-67.

УДК 621.311.243.001.5

**ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ  
СТАНЦИЙ ВМЕСТО ТЭЦ  
ASSESSMENT OF THE FEASIBILITY OF USING OF SOLAR STATIONS  
INSTEAD OF CHP**

**Мария Юрьевна Юркина, Любовь Валерьевна Аверьянова  
Maria Yu. Yurkina, Lyubov V. Averyanova**

*Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва  
National Research University «MPEI», Russia, Moscow  
(e-mail: YurkinaMY@mpei.ru, LV Averyanova@yandex.ru)*

*Аннотация:* В настоящее время во всем мире, в том числе и в нашей стране, остро встает вопрос о разработке и внедрении новых источников энергии, т.к. запасы нефти, газа и угля не безграничны. В статье представлены результаты расчета солнечных электростанций и теплоэлектроцентралей, а также оценка целесообразности использования солнечных станций вместо ТЭЦ.

*Abstract:* At present, throughout the world, including in our country, sharply raises the question about the development and implementation of new energy sources, because reserves of oil, gas and coal are not limitless. The article presents the results of the calculation of solar power stations and combined heat and power plants, as well as an assessment of the feasibility of using solar power stations instead of CHP.

*Ключевые слова:* Гелиостаты; солнечные зеркала; приемник; котлоагрегат; мощность станции; количество солнечных часов за год; расход пара на турбины; тепловые потери; отпуск теплоты с коллекторов; отпуск электрической энергии с шин станции; потребитель; расход условного топлива; капиталовложения; издержки производства; калькуляция себестоимости энергии.

*Keywords:* The heliostats; solar mirrors; a receiver; boiler; power station; the number of Sunny hours during the year; the steam flow to the turbines; heat losses; heat supply from the collectors; electricity supply from the station; consumer; equivalent fuel consumption; investment; production costs; cost of energy.

### **Введение**

Развитие возобновляемых источников энергии является основным фактором энергетической безопасности и устойчивого развития страны. Традиционная энергетика сталкивается с целым рядом проблем, и поэтому получение альтернативной энергии становится жизненной необходимостью [1]. Одним из видов альтернативной энергии является использование энергии Солнца.

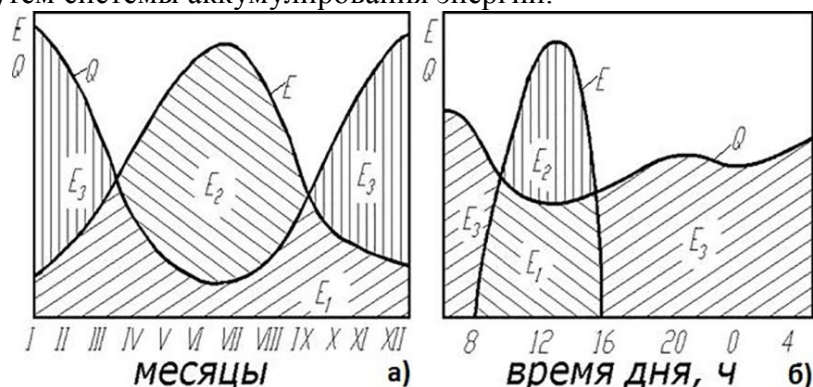
Солнечная энергия – экологически чистая, бесплатная, неисчерпаемая. А учитывая истощение запасов традиционных источников энергии и рост тарифов на электрическую энергию, можно сделать вывод, что уже в ближайшем будущем солнечная энергия будет экономически конкурентоспособна.

Годовое поступление солнечной энергии на Землю в 10 тыс. раз превышает энергопотребление человечеством. Возможность применения возобновляемых источников энергии составляет основное содержание и цель энергетических политик как развитых стран, так и бурно развивающихся. Возобновляемые источники играют значительную роль в решении глобальных проблем, стоящих перед человечеством: обеспечение энергетической, экологической и продовольственной безопасности. В Европе существуют различные механизмы стимулирования ВИЭ. Практически все страны ЕС-27 уже сегодня осуществляют



поддержку производства электричества на основе ВИЭ через разные политики — тендеры, специальные тарифы и зеленые сертификаты [2].

Однако солнечная установка зависит от суточных, сезонных и погодных изменений, связанных с уровнем инсоляции. Наблюдается несоответствие во времени и по количественным показателям поступления солнечной радиации и теплотребления (рис. 1). Для того чтобы справиться с колебаниями, солнечная станция может быть подстрахована за счет электростанции на ископаемом топливе, или изменения солнечной активности могут быть уменьшены путем системы аккумулирования энергии.



**Рис. 1. Годовой (а) и суточный (б) ход поступления солнечной энергии (E) и тепловой нагрузки (Q):**

$E_1$  – количество солнечной энергии, требующееся в данный момент;  $E_2$  – избыток солнечной энергии;  $E_3$  – недостаток солнечной энергии.

### Расчет солнечных электростанций башенного типа, расположенных в различных городах РФ

В работе произведен расчёт солнечных электростанций башенного типа, расположенных в г. Москве, г. Мурманске, г. Сочи, г. Астрахани и г. Борзе. Выбор обусловлен различными значениями количества солнечных часов за год в данных городах. Перечисленные города и количество солнечных часов за год для них обозначено на карте РФ (рис. 2). Также в работе теоретически рассмотрен случай непрерывной работы солнечной станции (8760 ч. в году), т.е. идеальный случай, при котором солнечная энергия поступает на станцию постоянно. Т.к. только в этом случае можно объективно сравнивать показатели для ТЭЦ и СЭС.



**Рис. 2. Карта РФ с обозначением некоторых городов и указанием количества солнечных часов за год (ч.) в данных городах**

Рассмотрим последовательность и результаты расчета на примере солнечной электростанции, расположенной в г. Москве.

1. Расчет установленной максимальной и номинальной мощности электростанции:  $N_{y}^{\max}=135$  МВт;  $N_y=110$  МВт.
2. Определение расхода пара на турбины:  $D_0=90,9$  кг/с.
3. Определение площади поверхности приемника и тепловых потерь в нем:  $F_{пр}=160,5$  м<sup>2</sup>;  $\Delta Q_{пот}=5$  МВт.
4. Определение энергии, полученной приемником от Солнца через гелиостаты:  $Q_{пр}=311$  МВт.
5. Расчет количества гелиостатов:  $n=13948$  шт.

**Расчет основных показателей ТЭЦ, расположенных в различных городах РФ**

Рассчитаны основные показатели для ТЭЦ, расположенных в различных городах РФ. На рассчитанных ТЭЦ установлены турбины Т-50/60–130 и ПТ-60/75–130 по 1 шт. и два паровых котла марки Е-320-140, в качестве топлива используется каменный уголь. Рассчитанные значения представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Сравнение основных результатов расчета ТЭЦ, расположенных в различных городах РФ**

Место расположения ТЭЦ	Установленная номинальная электрическая мощность электростанции, МВт	Часовой отпуск пара на произв-во с коллекторов ТЭЦ, т/ч	Годовой отпуск эл. эн. с шин станции, тыс. МВт·ч/год	Число часов использования отопительных отборов в течение года, ч.	Общий годовой отпуск теплоты с коллекторов ТЭЦ, тыс. ГДж/год
г. Москва	110	105	590	5500	4084
г. Мурманск	110	105	590	6500	4628
г. Сочи	110	105	590	5000	3812
г. Астрахань	110	105	590	5000	3812
г. Борзя	110	105	590	6500	4628

**Расчет основных показателей СЭС, расположенных в различных городах РФ**

Проведён расчет основных показателей солнечных станций, расположенных в г. Москве, г. Мурманске, г. Сочи, г. Астрахани, г. Борзе и СЭС, работающей 8760 ч. в году (г. Москва).

На солнечных станциях используются турбины: Т-50/60–130 – 1 шт, ПТ-60/75–130 – 1 шт. Полученные результаты по ТЭЦ и СЭС сведены в таблицу 2.

**Таблица 2. Сравнение основных результатов расчета ТЭЦ и солнечных электростанций, расположенных в различных городах РФ**

Тип станции		Количество солнечных часов за год, ч.	Общий годовой отпуск теплоты, тыс. ГДж/год	Годовой отпуск электрической энергии, тыс. МВт·ч/год
1	2	3	4	5
г. Москва	ТЭЦ	работа станции не зависит от количества солнечных часов за год	4084	590
	СЭС	1723	803	116
	СЭС, работающая	8760	4084	590

1	2	3	4	5
	8760 ч. в году			
г. Мурманск	ТЭЦ	работа станции не зависит от количества солнечных часов за год	4628	590
	СЭС		1292	683
г. Сочи	ТЭЦ	работа станции не зависит от количества солнечных часов за год	3812	590
	СЭС		2177	947
г. Астрахань	ТЭЦ	работа станции не зависит от количества солнечных часов за год	3812	590
	СЭС		2410	1049
г. Борзя	ТЭЦ	работа станции не зависит от количества солнечных часов за год	4628	590
	СЭС		2797	1478

Количество отпущенной солнечной станцией тепловой и электрической энергии зависит от количества солнечных часов за год. При большем значении солнечных часов за год солнечная станция отпускает и большее количество тепловой и электрической энергии. В городе Борзе - наибольшее количество солнечных часов за год среди городов РФ (2797 ч), а в городе Мурманске – наименьшее (1292 ч.). В результате расчета стало известно, что отпуск тепловой и электрической энергии в г. Борзе ~ в 1,9 раз превышает отпуск тепловой и электрической энергии в г. Мурманске. Годовой отпуск тепловой и электрической энергии ТЭЦ ~ в 3,1 раза выше, чем годовой отпуск тепловой и электрической энергии солнечной станцией, расположенной в г. Борзе и ~ в 7,1 раза выше, чем годовой отпуск тепловой и электрической энергии солнечной станцией, расположенной в г. Мурманске. Однако, в идеальном случае работы солнечной станции 8760 ч. в году (теоретически) годовой отпуск тепловой и электрической энергии одинаков как для ТЭЦ, так и для солнечной станции.

#### Оценка целесообразности использования солнечных станций вместо ТЭЦ

Произведена оценка целесообразности использования солнечных станций вместо ТЭЦ. Сравнение результатов расчета представлено в таблицах 3 и 4.

**Таблица 3. Сравнение себестоимости тепловой и электрической энергии ТЭЦ и солнечных электростанций, расположенных в различных городах РФ**

Тип станции		Стоимость отпущенной тепл. энергии, руб./ГДж	Стоимость отпущенной эл. энергии, коп./кВт·ч
г. Москва	ТЭЦ	416	217
	СЭС	710	370
	СЭС, работающая 8760 ч. в году	140	73
г. Мурманск	ТЭЦ	410	203
	СЭС	716	424
г. Сочи	ТЭЦ	416	234
	СЭС	551	268
г. Астрахань	ТЭЦ	414	232
	СЭС	332	162

г. Борзя	ТЭЦ	419	208
	СЭС	262	155

**Таблица 4. Сравнение основных затрат на производство энергии для ТЭЦ и солнечных электростанций, расположенных в различных городах РФ**

Тип станции		Абс. вложения капитала в строит-во станции, тыс. руб.	Годовые издержки произв-ва, тыс. руб./год	Количество солнечных часов за год, ч.
г. Москва	ТЭЦ	40262	2980727	работа станции не зависит от количества солн. часов за год
	СЭС	3960979	1000022	1723
	СЭС, раб-щая 8760 ч. в году	3960979	1000022	8760
г. Мурманск	ТЭЦ	60393	3094264	работа станции не зависит от количества солн. часов за год
	СЭС	5942315	858067	1292
г. Сочи	ТЭЦ	39859	2967682	работа станции не зависит от количества солн. часов за год
	СЭС	3920251	916156	2177
г. Астрахань	ТЭЦ	39859	2951322	работа станции не зависит от количества солн. часов за год
	СЭС	3920810	610502	2410
г. Борзя	ТЭЦ	47912	3166623	работа станции не зависит от количества солн. часов за год
	СЭС	4714237	678948	2797

### Заклучение

Из результатов расчета следует, что абсолютные капиталовложения в строительство солнечной станции в 98,4 раза превышают абсолютные капиталовложения в строительство ТЭЦ. Однако годовые издержки производства для солнечной станции ~ в 3÷4,8 раза (в зависимости от города строительства солнечной электростанции) ниже по сравнению с ТЭЦ.

Для солнечных станций, расположенных в г. Москве, г. Мурманске и г. Сочи, стоимость отпущенной тепловой и электрической энергии выше, чем при использовании ТЭЦ: ~ в 1,7 раза для г. Москвы, ~ в 1,9 раза для г. Мурманска, ~ в 1,2 раза для г. Сочи. В то время как для солнечных станций, расположенных в г. Астрахани и г. Борзе, стоимость отпущенной тепловой и электрической энергии ниже, чем при использовании ТЭЦ: ~ в 1,3 раза для г. Астрахани, ~ в 1,5 раза для г. Борзи. Более низкая стоимость отпущенной энергии по сравнению с ТЭЦ обусловлена большим количеством солнечных часов за год для г. Астрахани и г. Борзи, а также низкими значениями годовых издержек производства для г. Астрахани и г. Борзи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Семёночкина И.О. Перспективы в развитии возобновляемых источников энергии // Успехи современного естествознания. 2012. №6. С. 193-194.
2. Гедири А. Перспективы развития возобновляемых источников энергии в контексте энергетической политики стран ЕС // Вестник Российского университета дружбы народов. 2012. №3. С. 26-32.
3. Волчек Т.М. Методические рекомендации по расчету технико-экономических показателей ТЭС в курсовой работе по дисциплине «Экономика организаций» и

экономической части дипломного проекта для учащихся по специальностям 2-43 01 32 «Теплоэнергетика» и 2-53 01 04 «Автоматизация и управление энергетическими процессами». Минск: Издательство МГЭК, 2008. 40 с.

4. Воркунов О.В. Перспективы развития солнечной энергетики в РТ // Современные наукоемкие технологии. 2014. №8. С. 79.

5. Берёзкин М.Ю. Укрощение Солнца // Наука и жизнь. 2013. №12. С. 13-19.

6. Мазуренко А.С. Разработка схемы комбинированной системы теплоснабжения с использованием сезонного аккумулирования тепла от гелиосистем // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. №8(73). С. 15-20.

УДК 620.92

**КОГЕНЕРАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ  
ЭНЕРГИИ И УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ  
COGENERATION TECHNOLOGY OF SOLAR TRANSFORMATION ENERGIES AND  
INSTALLATIONS FOR ITS IMPLEMENTATION**

**Антон Викторович Жарков\*, Виктор Яковлевич Жарков\*\*  
Anton V. Zharkov, Victor Ya. Zharcov**

*\*Таврический государственный агротехнологический университет – ТГАТУ,  
Украина, Мелитополь  
Tavrija State Agrotechnological University- TSAU, Ukraine, Melitopol  
(e-mail: a.zharkov@beer-co.com)*

*\*\*Сумской национальной аграрный университет - СНАУ, Украина, Сумы  
Sumy National Agrarian University – SNAU, Ukraine, Sumy  
(e-mail: zharkov\_victor@mail.ru)*

*Аннотация:* Приведен анализ развития фотомодулей и СЭС. Суть наших изобретений заключается в усовершенствовании конструкции фотомодуля цилиндрической формы Solyndra, содержащего две стеклянные трубки. Трубка меньшего диаметра покрыта тонкой пленкой ФЭП и помещена в такую же трубку большего диаметра. Эффективность фотомодуля повышается за счет охлаждения и дополнительного получения тепла.

*Abstract:* The analysis of PV modules and solar power. The essence of our invention is to improve the design of cylindrical shape photomodule Solyndra, comprising two glass tubes. A tube of smaller diameter is covered by a thin film photovoltaic cells and placed in the same tube of larger diameter. Photo module efficiency is enhanced by additional cooling and heat production.

*Ключевые слова:* анализ, возобновляемые источники энергии, гелиоэнергетика, фотоэлектрический модуль, солнечные электростанции, когенерация.

*Keywords:* analysis, renewable energy, photovoltaic module, solar power, cogeneration.

На территории Европы солнечная энергетика является самым быстроразвивающимся направлением в области возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Солнечная энергетика развивается в направлениях генерирования электричества и тепла. Солнечные электростанции (СЭС), даже обладая низким КПД, имеют целый ряд преимуществ перед традиционными источниками электроэнергии и уже сейчас являются конкурентоспособными [1,2]. Эффективность работы СЭС в значительной степени определяется КПД фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) и существенно зависит от их температуры.

В результате многолетней модернизации структуры ФЭП было достигнуто наивысшее значение КПД - 24% (рисунок 1) [3]. В качестве наиболее вероятных материалов для изготовления ФЭП рассматриваются кремний и арсенид галлия. При нагреве ФЭП на один градус сверх 25 °С он теряет в напряжении 0,002 В, т.е. 0,4 % / градус. В яркий солнечный день элементы нагреваются до 60... 70 °С, теряя 0,07... 0,09 В каждый [3]. Это и является

основной причиной снижения КПД, который приводит к падению напряжения, генерированного каждым ФЭП [4-7].

Целью статьи является обоснование когенерационной технологии преобразования солнечной энергии и разработка эффективных устройств для приусадебных СЭС с использованием запатентованных нами солнечных фотоэлектрических модулей (СФЭМ) цилиндрической формы с водяным охлаждением, термосифоном или тепловой трубой [9].

На отопление и горячее водоснабжение в мире расходуется около трети топлива. Вместе с тем, 40% энергии крестьянину нужны в виде низкопотенциальной теплоты (НПТ). Однако тратить высококачественную электрическую энергию на получение НПТ противоречит здравому смыслу [14]. НПТ необходимо получать от ВИЭ - за счет энергии Солнца, ветра, биомассы и т.п.

Международная научно-практическая конференция "Возобновляемая энергетика и энергоэффективность в XXI в." (Киев, 29-30.09.2016 г.) одним из пунктов принятой Резолюции постановила "научно-исследовательским организациям, учебным заведениям, которые занимаются вопросами энергообеспечения и энергосбережения, рекомендовать продолжить, расширить и углубить исследования по направлению: разработка когенерационных технологий производства тепловой и электрической энергии на базе использования ВИЭ для домохозяйств" [4]. На это и направлена представленная научная работа.

Известен солнечный ФЭМ цилиндрической формы Solyndra (от английских слов "солнечный" и "цилиндр") [5] основанный на тонкопленочных солнечных элементах, изготовленных из нового полупроводника, состоящего из соединения меди, индия галлия и селена (CIGS). В отличие от стандартных солнечных батарей, которые сделаны из широких плоских элементов, новые преобразователи выполнены в виде цилиндров. Такая форма позволяет увеличить количество поглощаемого света (а значит и электроэнергии) в течение дня без изменения положения конструкции СФЭМ [6]. Высокая цена СФЭМ и снижение их КПД при росте температуры является одной из причин сдерживания роста приусадебных СЭС. К тому же известные СФЭМ предназначены для генерации только электричества и не могут генерировать тепловую энергию [6].

Для вывода ФЭС на конкурентоспособные позиции с ВЭС необходимо достичь повышения КПД ФЭП и снижение капитальных затрат в 2-3 раза. Мировая наука предусматривает для этого изготовление ФЭП из арсенида галлия, и достичь на них КПД преобразования выше 40% [7, 8]. Кроме того, недостатком всех СЭС является то, что генерирование электроэнергии происходит стохастически, и электрическая мощность, отдаваемая в сеть, не регулируется. Этих недостатков лишены запатентованные нами когенерационные СЭС с гибридными СФЭМ. Ниже приведен аналитический обзор разработанных и запатентованных нами СФЭМ [9, 10, 11] и приусадебных СЭС [12, 13, 14], направленные на повышение эффективности их работы.

В основу наших изобретений [9, 10, 11] поставлена задача усовершенствования СФЭМ цилиндрической формы Solyndra [5] путем образования из двух стеклянных трубок вакуумной колбы типа сосуда Дьюара, с выведенными электрическими герметическими контактами от пленки полупроводникового ФЭП, охлаждение ФЭП за счет наполнения внутренней трубки охлаждающей жидкостью. За счет этого снижается рабочая температура ФЭП и увеличивается КПД и эффективность СФЭМ [6].

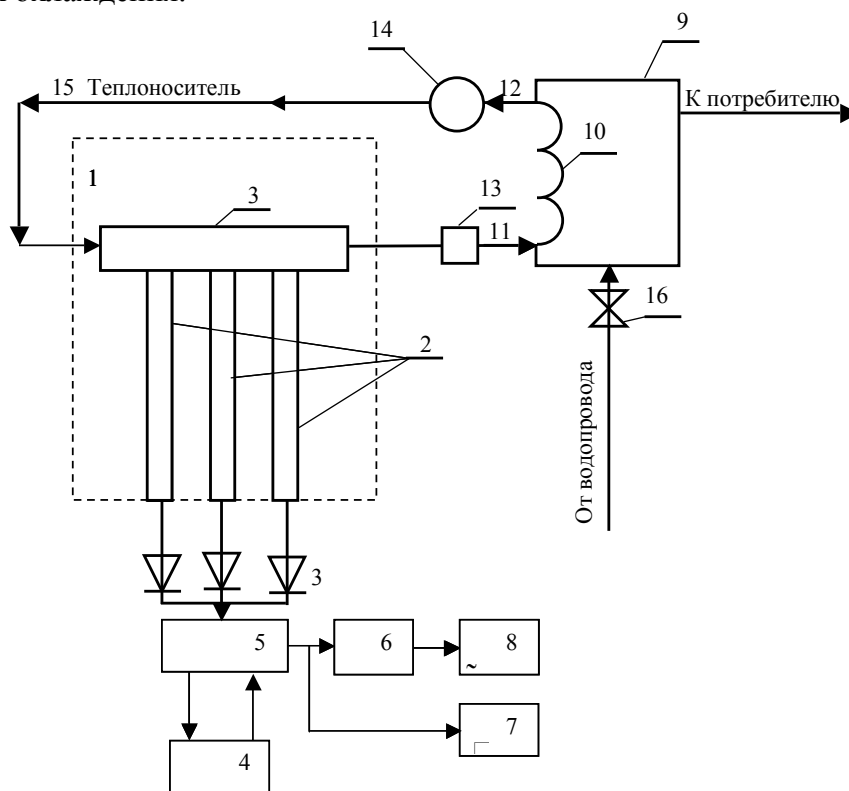
СФЭМ цилиндрической формы [9], содержит две коаксиально, с зазором, расположенные стеклянные трубки. Внутренняя трубка покрыта тонкой пленкой полупроводникового ФЭП, помещена в прозрачную стеклянную трубку большего диаметра с электрическими контактами, выведенными от пленки полупроводникового ФЭП.

Соединение между собой двух стеклянных трубок с образованием вакуумной колбы, типа сосуда Дьюара, обеспечивает теплоизоляцию пленки ФЭП от конвекционного нагрева за счет окружающей среды. Изготовление трубок из прочного боросиликатного стекла обеспечивает их механическую прочность и пропуск волн солнечной радиации в диапазоне

0,4 ... 2,7 мкм. Наличие электрических гермоконтактов обеспечивает герметичность вакуумной колбы при их выведении наружу. Заполнение пространства внутренней стеклянной трубки охлаждающей жидкостью обеспечивает охлаждение ФЭП, а следовательно, и увеличение его КПД. Установка СФЭМ на крыше здания под углом к горизонту, равным географической широте местности, обеспечивает максимальное его освещение прямыми солнечными лучами в течение года. Использование воды в качестве охлаждающей жидкости позволяет охлаждающий контур выполнить открытым, а подогретую воду использовать для хозяйственных нужд, например, для орошения растений, для душа, мытья посуды и т.д., а во внутреннюю трубку СФЭМ будет поступать свежая вода из водопровода [9].

На устойчивость СФЭМ цилиндрической формы практически не влияет ветер скоростью до 200 км/ч и град диаметром до 25 мм. Устанавливать их на крышах проще и дешевле, чем ФЭП с системами слежения за Солнцем. Рассмотренный СФЭМ обеспечивает только охлаждение ФЭП в жаркое время года, и не обеспечивает генерацию тепла. Зимой охлаждать СФЭМ не требуется, и перед сезонным похолоданием воду надо сливать [7, 8].

В основу изобретений [12, 13, 14] поставлена задача увеличения эффективности автономной СЭС с гибридными ФЭМ цилиндрической формы [9] путем отбора теплоты конденсации рабочего тела в термосифон [11], или в тепловую трубу [10] и повышение КПД ФЭП за счет их охлаждения.



**Рисунок 1. Автономная когенерационная энергоустановка с гибридными ФЭМ цилиндрической формы, Патент UA 107991.**

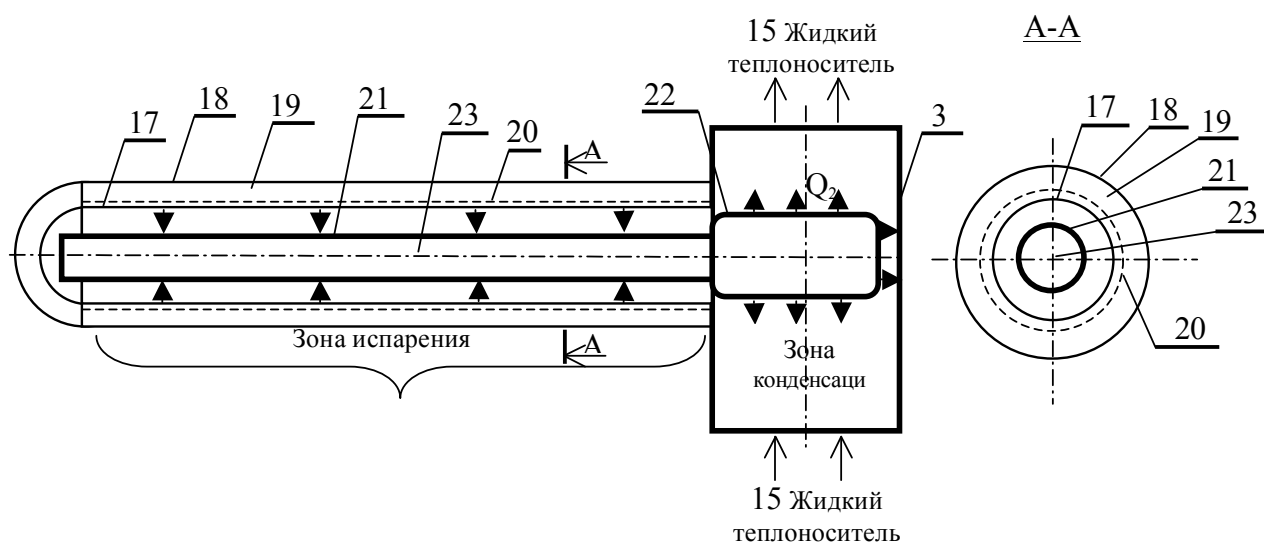
На Рис. 1 изображена автономная когенерационная энергоустановка с гибридными ФЭМ цилиндрической формы [13].

Автономная когенерационная энергоустановка с гибридными ФЭМ цилиндрической формы [13] содержит батарею 1 с нескольких гибридных ФЭМ цилиндрической формы 2, объединенных общим охлаждающим коллектором 3, аккумулятор 4, контроллер 5, инвертор 6, потребители постоянного тока 7, присоединенные к выходу контроллера 5 непосредственно, потребители переменного тока 8, присоединенные через инвертор 5, аккумулятор 9 с теплообменником 10 и трубопроводами 11,12, термодатчик 13 на входном

трубопроводе 11 и вихревой насос 14 на выходном трубопроводе 12 с жидким теплоносителем 15, электроклапан 16.

Гибридный ФЭМ цилиндрической формы (Рис. 2) содержит две стеклянные трубки 17, 18 с боросиликатного стекла. Внутренняя трубка 17 расположена в прозрачной трубке 18 большего диаметра (одна в одной), и соединены между собой подобно сосуду Дьюара [5], с вакуумной полостью 19 между ними.

Внешняя поверхность внутренней трубки 17 покрыта пленкой с полупроводниковых ФЭП 20, которая наносится непосредственно на стекло, соединенных электрически последовательно (не показаны). Внутри внутренней трубки 17 расположен термосифон в виде герметичного корпуса 21 с чистой красной меди, с конденсатором 22 контактирующим с охлаждающим коллектором 3, с жидким незамерзающим теплоносителем 15, например, антифризом. Герметичный корпус 21 и конденсатор 22 наполненные рабочим телом 23 с фазовым переходом, от жидкости к газу, и наоборот, с низкой температурой замерзания, с зоной испарения и зоной конденсации. В качестве рабочего тела 23 могут быть использованы: этанол или его водный раствор, и / или ацетон, и / или эфир или их смесь.



**Рисунок 2. Продольный и поперечный разрезы солнечного когенерационного модуля, Патент UA 100635.**

Нами разработана и запатентована также солнечная энергоустановка для подвижных объектов (например, для баржи, яхты или зерноуборочного комбайна) [14] с ФЭМ в виде двусторонней тепловой трубы с перегородкой посередине [10]. Внутренняя поверхность тепловой трубы, в отличие от термосифона, снабжена фитилём, обеспечивающим возврат конденсата, при любом её положении.

В заключение статьи следует отметить, что когенерационная технология не только повышает КПД СЭС, но и улучшают режим их работы за счет своевременного перевода с одного вида генерации на другой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Безруких П.П. Эффективность возобновляемой энергетики. Мифы и факты // Вестник аграрной науки Дона. 2015. Вып.1. С. 5-17.
2. Муравлева Е.А. Оценка потенциала использования энергии солнечного излучения на территории России // Вестник аграрной науки Дона. 2015. Вып.1. С. 38-45.
3. Ефимов В.П. Фотопреобразователи энергии солнечного излучения нового поколения// Физика и техника полупроводников. 2010. т. 8. № 2.- С. 100-115.
4. Жарков А.В., Жарков В.Я. Розробка сонячних когенераційних установок з фотомодулями циліндричної форми// XVII Міжнародна науково-практична конференція



"Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті" 29-30 вересня 2016, Київ: КПІ - ІВЕ, 2016.

5. Солнечный фотоэлектрический модуль цилиндрической формы Solyndra [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [<http://www.membrana.ru/particle/13126>].

6. Жарков В.Я. Совершенствование фотомодулей приусадебных солнечных электростанций // Вестник аграрной науки Дона. 2015. Вып.1. С. 59-69.

7. Жарков В.Я., Галько С.В., Жарков А.В. Присадибна сонячна електростанція з фотоелектричними модулями циліндричної форми//Вісник ХНТУСГ. Вип.165.- Харків. 2015. С.25-26.

8. Жарков А.В., Королёв А.М. Приусадебная солнечная электростанция с охлаждаемыми фотоэлектрическими модулями // Вестник аграрной науки Дона. 2017. № 1 (37). С. 57-62.

9. Пат. UA 97080. МПК H01L31/00. Сонячний фотоелектричний модуль циліндричної форми //В. Я. Жарков, В.Т. Діордієв, О.С. Саніна, О.В. Піхтарь; Заявл. 09.10.2014; опубл. 25.02.2015, Бюл. №4.

10. Пат. UA 97782. МПК F28D15/04, F24J3/06. Сонячний когенераційний модуль циліндричної форми/ В. Я. Жарков; Заявл. 26.08.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7.

11.Пат. UA 100635. МПК F24J3/00, F28D15/02. Сонячний когенераційний модуль з термосифоном / В. Я. Жарков; Заявл. 25.09.2014; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.

12. Пат. UA 103043. МПК H01L31/00 H02J7/35. Присадибна сонячна електростанція з фотоелектричними модулями циліндричної форми //В.Я. Жарков, А.В.Жарков, І.А. Орловський, О.В. Піхтарь, С.В. Галько; Заявл. 07.07.2015; опубл. 25.11.2015, Бюл. №22.

13. Пат. UA 107991. МПК H01L31/00, H01J7/00, F24J2/00. Автономна когенераційна енергоустановка з гібридними фотоелектричними модулями циліндричної форми/ В.Я.Жарков, А.В.Жарков, І.А. Орловський; Заявл. 11.01.2016; опубл. 24.06.2016, Бюл. №12.

14. Пат. UA 107333. МПК B60L8/00, H01L31/00, F24J3/06. Автономна когенераційна енергоустановка для рухомого об'єкта/ А.В. Жарков; Заявл. 11.01.2016; опубл. 25.05.2016, Бюл.№10.

УДК 66.066.2

## РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ RESOURCE SAVING IN THE PRODUCTION OF ORGANIC PIGMENTS

Мария Юрьевна Субочева, Евгения Андреевна Балашова  
Mariya Yu. Subocheva, Evgeniya A. Balashova

*Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов*  
*Tambov State Technical University, Russia, Tambov*  
*(e-mail: mariya\_1711@mail.ru, dzhimbol@mail.ru)*

*Аннотация:* В докладе приведен метод удаления водорастворимых солей из суспензии органических пигментов обуславливающий уменьшение сточных вод путем повторного использования промывных вод без потери качественных показателей готовых продуктов.

*Abstrac.:* The report shows the method of removing water-soluble salts from a suspension of organic pigments causing a reduction in sewage by reusing the wash water without losing the quality indicators of the finished products.

*Ключевые слова:* азокраситель, водорастворимые соли, декантация, отмывка, относительная красящая способность, промывные воды, суспензия.

*Keywords:* azopigment, water-soluble salts, decantation, washing, relative coloring ability, washing water, suspension.

Предприятия анилинокрасочной промышленности являются одними из основных объектов по сбросам сточных вод, которые, пройдя все производственные циклы (подготовка сырья, синтез, фильтрация) загрязняются различными органическими и

неорганическими веществами (фенол, анилин, различные амины, ксилолы, соли, кислоты и многие другие высокотоксичные вещества): растворимыми, нерастворимыми и взвешенными [1, 2].

Очистка и уменьшение количества сточных вод за счет повторного их использования в технологическом цикле (например, для использования на стадиях промывки) без потери качества готового продукта является одной из самых актуальных проблем [3]. Поскольку основное количество воды, как экстрагента, используют для промывки продукта, наряду с созданием оптимального режима процесса, важно обеспечить минимальный расход воды при сохранении требуемого качества азопигментов.

Наличие водорастворимых солей в пасте пигментов влияет на колористическую концентрацию, которая является одним из самых важных показателей качества азопигментов и красителей, зависящая от многих факторов, как физических, так и химических. Наличие солей в составе паст органических пигментов приводит к уменьшению его колористической концентрации [1].

Из всего многообразия методов удаления водорастворимых солей из осадков можно выделить следующие: репульпация, промывка на фильтре, декантация [4] и применение мембранных технологий [5-6].

Декантация является одним из самых простых и бережных к структуре кристаллов пигментов методов очистки, суть которого заключается в разделении твердой и жидкой фаз отстаиванием. Для увеличения скорости разделения фаз и повышения растворимости солей использовались промывная вода (артезианская) и наноматериалы (тонкодисперсные порошки металлов с размером частиц 50-100 нм и 3-5 нм в виде мицелярного раствора в органическом растворителе) [7].

Экспериментальные исследования проводились на пастах азопигментов: пигмент оранжевый Ж (pigment orange 13 №21110), пигмент зеленый Б (pigment green №10006), пигмент черный С, пигмент алый 2С (P. Red 2), лак рубиновый 2СК (pigment red 57:1 №15850), краситель красный FGR (PR112-FGR). Демонстрация результатов экспериментов приводится на примере пигмента оранжевого (pigment orange 13 №21110). Исходная суспензия пигмента отстаивалась, фильтрат декантировался, отмывку сформировавшейся пасты вели шестикратными объемами воды равными объему пасты с добавлением наноструктурированных металлов. Промывные воды анализировали на наличие водорастворимых примесей методом определения удельной электрической проводимости раствора на анализаторе жидкости PP-50 фирмы Sartorius AG.

**Таблица 1. Содержание солей в промывной воде на каждом этапе отмывки**

Стадии отмывки	По существующей технологии	С применением метода декантации
	Содержание солей в промывных водах, % масс.	
Исходный фильтрат	1,26	1,26
1 стадия	0,46	0,42
2 стадия	0,18	0,16
3 стадия	0,08	0,05
4 стадия	0,06	0,04
5 стадия	0,04	0,03
6 стадия	0,04	0,02

**Таблица 2. Влияние метода удаления водорастворимых солей, на колористическую концентрацию азопигментов**

Технология удаления водорастворимых солей	Относительная красящая способность, I %	Содержание солей в пасте пигмента, % масс.
По существующей технологии	103,4	0,026
С применением метода	105,8	0,020

декантации		
------------	--	--

На основе анализа результатов экспериментальных исследований, представленных в таблицах 1 и 2 была показана эффективность метода декантации для удаления водорастворимых солей и как следствие гарантировала высокую колористическую концентрацию или относительная красящая способность.

На основе анализа результатов экспериментальных исследований, представленных в таблицах 1 и 2 была показана эффективность метода декантации для удаления водорастворимых солей и как следствие гарантировала высокую колористическую концентрацию или относительная красящая способность.

Наноматериалы, введенные в любую из сред, изменяют ее свойства. Растворимость солей в промывной воде наращивается за счет введения материалов первой, шестой и восьмой групп периодической системы Д.И. Менделеева в наноразмерной форме [8]. Результаты исследований по влиянию нанодобавок на растворимость примесей в промывной воде с наноматериалами представлены в таблицах 3 и 4.

**Таблица 3. Влияние нанометаллов, введенных в промывную воду, на растворимость солей с применением метода декантации**

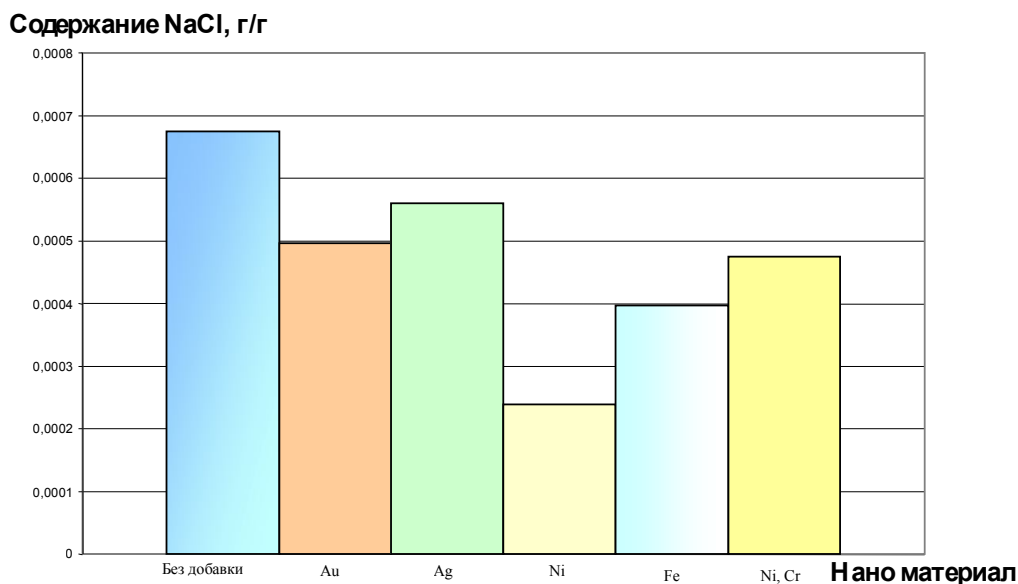
Стадии отмывки	Промывная вода, содержащая наноматериал					
	Au	Ag	Cu	Ni	Fe	Ni, Cr
	Содержание солей в промывных водах, % масс.					
Исходный фильтрат	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26
1 стадия	0,52	0,53	0,55	0,62	0,53	0,50
2 стадия	0,10	0,08	0,09	0,09	0,09	0,07
3 стадия	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
4 стадия	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03

**Таблица 4. Влияние нанодобавок металлов, введенных в промывную воду, на колористическую концентрацию азопигментов**

Промывная вода, содержащая наноматериал	Относительная красящая способность, I %	Содержание солей в пасте пигмента, % масс.
С применение нано Au	103,3	0,0048
С применение нано Ag	103,2	0,0065
С применение нано Cu	103,1	0,0064
С применение нано Ni	104,9	0,0055
С применение нано Fe	106,2	0,0055
С применение нано Ni, Cr	106,5	0,0056

Наибольшая эффективность по удалению водорастворимых солей (NaCl) из паст азопигментов получена на материалах в наноразмерной форме шестой и восьмой групп, как и наилучшая колористическая концентрация.

Анализ полученных результатов позволяет оценить эффективность применения наноматериалов, для снижения солесодержания в готовом продукте. В случае использования Ni и Fe пигмент оранжевый Ж содержит наименьшее количество солей и как следствие обладает высокой колористической концентрацией (рис. 1).



**Рис. 1. Влияние нанодобавок металлов, введенных в промывную воду, на содержание водорастворимых примесей (NaCl) в сухом пигменте.**

Поскольку наличие водорастворимых солей, влияет на колористическую концентрацию азопигментов, то была проведена оценка качественных показателей на примере пигмента оранжевого Ж, результаты которой представлены в таблице 5.

**Таблица 5. Колористические показатели пигмента оранжевого Ж**

Технология удаления водорастворимых солей	Инструментальная оценка в разбеле							
	$\Delta E$	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta C$	$\Delta H$	I, %	
По существующей технологии	0,33	-0,24	-0,19	-0,13	-0,23	0,04	101,4	
Промывка артезианской водой методом декантации	0,87	-0,4	0,25	0,73	0,69	0,35	105,8	
Промывка артезианской водой, содержащей материал в наноразмерной форме методом декантации	Au	2,386	0,184	1,183	2,063	2,29	0,642	109,3
	Ag	4,402	0,778	2,344	3,644	4,218	0,989	121,4
	Cu	3,691	0,453	2,026	3,028	3,585	0,752	115,94
	Ni	10,09	-1,77	5,3	8,3	9,6	2,36	157
	Fe	10,12	1,95	5,34	8,37	9,64	2,38	159
	Ni,Cr	3,79	1,076	1,723	3,211	3,469	1,115	121,97

Для оценки относительной красящей способности (концентрации), оттенка и чистоты окраски, общего цветового различия в офсетном связующем пигмент Оранжевый Ж высушивался при 70–80°C и анализировался экспресс–методом по ГОСТ 11279.1 п. 1,2 в масляном покрытии визуальнo и инструментально. Инструментальная оценка проводилась в разбеле на цветоизмерительном комплексе «Макбет» с помощью программного обеспечения «OPTIVIEW LITE», относительно стандартного типа. Оценку печатных оттисков проводили на спектроколориметре «Макбет» Color Eye 7000A. В системе CIELAB оценивались показатели: колористическая концентрация пигмента относительно типа (I, %), цветовые характеристики и допускаемые отклонений по оттенку  $\Delta H$ , светлоте  $\Delta L$ , чистоте  $\Delta C$  и общему цветовому различию  $\Delta E$  [1].

При использовании нового метода отмывки (декантация) готовый продукт становится чище и увеличивается его колористическая концентрация (I = 105,8 %).

При использовании нанодобавок на стадии удаления солей, во всех случаях наблюдаются высокие значения колористические концентрации (I) и улучшение красящей способности, оттенок становится чище. Наибольшая эффективность использования промывной воды и нанодобавок достигается при использовании добавок Ni и Fe (колористическая концентрация 157, 159 %).

Результаты экспериментальных исследований подтвердили влияние метода декантации и добавление в промывные воды наноматериалов на относительную красящую способность и растворимость солей в пастах органических пигментов.

Предлагаемый метод удаления водорастворимых солей позволяет использовать отработанные промывные воды с третьей стадии процесса декантации и последующих на первой и следующих повторно без предварительной очистки. При этом сокращается количество потребляемой воды для промывки пигмента и количество сточных вод в 4 раза по сравнению с промывкой на фильтрах и снижается расход электроэнергии в 2,7 раз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ермилов, П. И. Пигменты и пигментированные лакокрасочные материалы / П. И. Ермилов, Е. А. Индейкин, И. А. Толмачёв. Л.: Химия, 1987. 200 с.
2. Промышленная экология / под ред. В. В. Денисова. М. : МарТ, 2007. 720 с.
3. Очнев Э.Н., Вязовов С.А., Лазарев С.И. Вопросы организации многофакторного эксперимента // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2004. Т. 9. № 2. С. 292-293.
4. Малиновская, Т.А. Разделение суспензий в промышленности органического синтеза / Т.А. Малиновская. – М.: Химия, 1971. – 320 с.
5. Вязовов С.А. Исследование диффузионной проницаемости обратноосмотических мембран в водных растворах оптического отбеливателя тетра-сульфо-типа Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-1. С. 86-87.
6. Пат. 2324529 Российская Федерация, МПК В01D 61/14, В01D 61/42. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа / Лазарев С. И., Вязовов С. А., Рябинский М. А. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2006100139/15 ; заявл. 10.01.2006 ; опубл. 20.05.2008, Бюл. № 14. – 7 с.
7. Егорова Е.М. Наночастицы металлов: их свойства и возможная роль в живых организмах // Ежегодник «Дельфис-2006». 2006. С. 219-224.
8. Петрунин В.Ф. Этапы развития ультрадисперсных (нано-) материалов в России // Ядерная физика и инжиниринг. 2013. Т. 4. № 6. С. 486.

УДК 66.097-922

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПИРОЛИЗНОЙ ЖИДКОСТИ  
БЫСТРОГО ТЕРМОКОНДУКТИВНОГО ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ  
STUDIES OF PHYSICAL PROPERTIES OF PYROLYSIC LIQUID OF FAST  
THERMOCONDUCTIVE PYROLYSIS OF WOOD WASTE**

**Денис Владимирович Тунцев, Элина Евгеньевна Антипова,  
Ирина Сергеевна Романчева, Александр Сергеевич Савельев  
Denis V. Tuntsev, Elina E. Antipova, Irina S. Romancheva, Aleksandr S. Savel'ev**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет  
Россия, Казань  
Kazan national research technological university, Russia, Kazan  
(e-mail: tuncsev\_d@mail.ru)*

*Аннотация:* Представлены результаты проведенных исследований физических свойств пиролизной жидкости быстрого термокондуктивного пиролиза древесных отходов лесного комплекса.

*Abstract:* The presents a results studies of physical properties pyrolysis liquid of fast thermal-conductive pyrolysis of wood waste from the forest complex.

*Ключевые слова:* лесной комплекс, древесные отходы, термическое разложение, быстрый термокондуктивный пиролиз, пиролизная жидкость.

*Keywords:* forest complex, wood waste, thermal decomposition, fast thermoconductivity pyrolysis, pyrolysis liquid.

Вопрос переработки древесных отходов и низкокачественной древесины является значимым для деревообрабатывающей и лесной промышленности [1]. Энергетическое использование древесных отходов и низкотоварной древесины на предприятиях лесопромышленного комплекса позволит значительно экономить традиционные энергоносители, снизить себестоимость продукции, улучшить экологическую обстановку и повысить рентабельность производства [2].

В настоящее время наибольшее развитие получили три основных направления термохимической переработки биомассы: это пиролиз, газификация и сжигание. Процесс термического разложения является определяющей стадией вышеперечисленных процессов, поскольку обеспечивает первичную трансформацию исходных соединений древесной биомассы в результате сложных цепных химических превращений в жидкие, газообразные и твердые промежуточные продукты [3]. В зависимости от внешних условий и свойств сырья состав и количество продуктов термического разложения сильно изменяется, что в свою очередь влияет на эффективность термохимических процессов [4].

В последние годы технология пиролиза активно развивается и совершенствуется, в связи с возможностью получения пиротоплива, являющимся альтернативой традиционным видам топлива.

В основе технологии быстрого кондуктивного пиролиза биомассы древесины лежит процесс передачи энергии от рабочей металлической поверхности на разлагаемое сырье, при непосредственном их контакте, температура пиролиза определяется температурой металла [5]. Продуктами быстрого термокондуктивного пиролиза являются пиролизная жидкость (с выходом до 75%), уголь и пирогаз.

Пиролизная жидкость состоит из различных типов компонентов, теплофизические свойства большинства из которых до сих пор неизвестны. Основные компоненты, входящие в состав пиролизной жидкости представлено в табл. 1.

**Таблица 1. Массовая доля основных компонентов пиролизной жидкости**

Компоненты	Формула	МВт (г/моль)	Массовая доля
Вода	H <sub>2</sub> O	18,02	21.10
Гидроксид ацетальдегида	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	60.05	21.77
Уксусная кислота	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	60.05	9.48
Гидрокси пропанон	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	74.08	15.06
Левоглюкозан	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	162.14	17.27
(5h) –фуран-2-1	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	84.07	2.37
Пропионовая кислота	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	74.08	1.25
Изоэвгенол	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	164.21	10.79
Фенол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	94.11	0.37
Сириггол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	154.16	0.54

При вычислении теплофизических свойств пиролизной жидкости (энтальпия, скрытая теплота, давление паров, критическая температура и критическое давление) применяется метод Джобэка. Первым шагом в поиске этих свойств является выявление молекулярной структуры и химических связей каждого из основных компонентов, за исключением воды, так как его свойства доступны в литературе.

Парциальное давление паров и скрытая теплота основных компонентов пиролизной жидкости были получены с помощью расширения Питзера, уравнения (1-5).

$$\ln(P_{\text{пар}}) = f^{(0)}(T_{\gamma}) + \omega f^{(1)}(T_{\gamma}) \quad (1)$$

где  $f^{(0)}$ ,  $f^{(1)}$  – корреляции

$$f^{(0)} = 5,92714 - \frac{6,09648}{T_{\gamma}} - 1,28862 \ln(T_{\gamma}) + 0,169347T_{\gamma}^6 \quad (2)$$

$$f^{(1)} = 15,2518 - \frac{15,6872}{T_{\gamma}} - 13,4721 \ln(T_{\gamma}) + 0,43577T_{\gamma}^6 \quad (3)$$

$$\omega = -\log\left(P_{\text{пар}}|_{T_{\gamma}=0,7}\right) - 1 \quad (4)$$

где  $T_{\gamma}$  – безразмерная величина определяется:

$$T_{\gamma} = \frac{T}{T_c} \quad (5)$$

Используя это же значение ( $T_{\gamma}$ ), можно рассчитать скрытую теплоту с помощью метода Лейлмиза:

$$L = L_b \frac{T_r}{T_{br}} \frac{X + X^q}{1 + X^p} \quad (6)$$

где  $X$  определяется:

$$X = \frac{T_{br}}{T_{\gamma}} \frac{1 - T_{\gamma}}{1 - T_{br}} \quad (7)$$

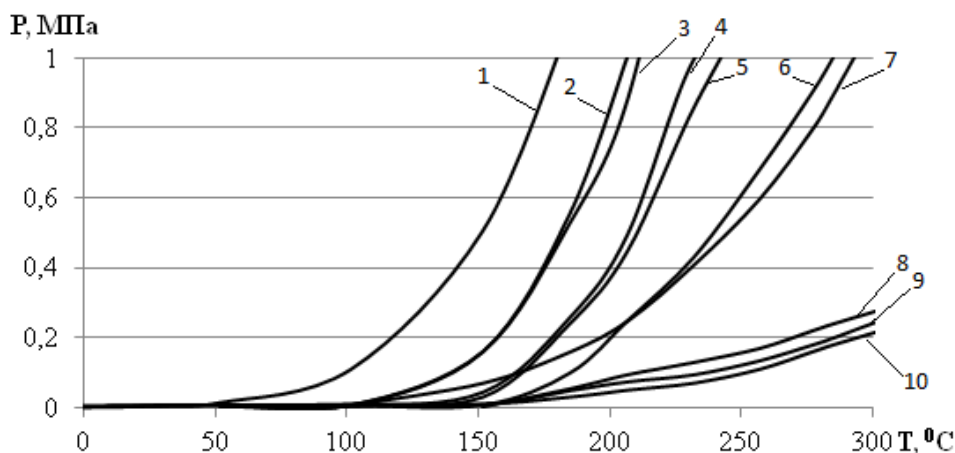
Нижний индекс  $b$  относится к нормальной точки кипения.  $L_b$  можно оценить, используя метод Рейделя следующим образом:

$$L_b = 1,093RT_c \left[ T_{br} \frac{\ln(P_c) - 1,013}{0,930 - T_{br}} \right] \quad (8)$$

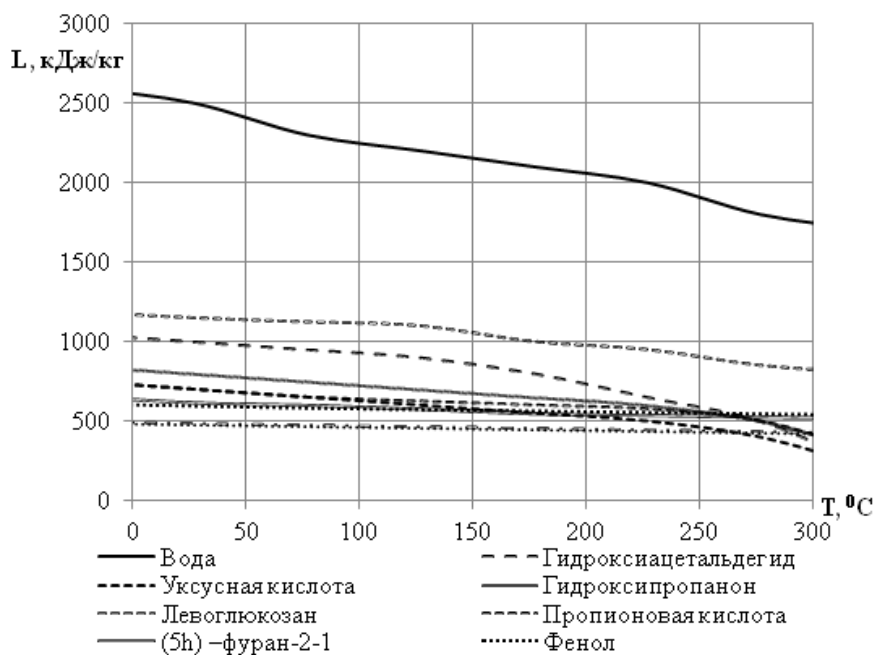
Среди основных компонентов пиролизной жидкости самое высокое давление пара имеет вода, а самое низкое — левоглюкозан. Результаты исследований показывают, что при температуре ниже 400 К, величина давления пара компонентов пиролизной жидкости практически равны нулю. Данный факт указывает на их низкую степень летучести. На

скорость испарения компонентов пиролизной жидкости также влияет скрытая теплота. На рис.1 и рис.2 представлены расчетные давления пара и скрытая теплота пиролизной жидкости.

Вода среди основных компонентов имеет самую высокую величину скрытой теплоты, теплота остальных компонентов пиролизной жидкости по сравнению с водой близки.



**Рис. 1** Парциальное давление пара основных компонентов пиролизной жидкости при различных температурах. (1 – вода; 2 – гидроксиацетальдегид; 3 – уксусная кислота; 4 – гидроксипропанон; 5 – пропионовая кислота; 6 – фенол; 7 – (5h)-фуран-2-1; 8 – сирингол; 9 – изоэвгенол; 10 - левоглюкозан)



**Рис. 2** Теплота парообразования основных компонентов пиролизной жидкости при различной температуре.

В результате проведенных исследований физических свойств пиролизной жидкости термокондуктивного пиролиза древесных отходов было установлено: компоненты, входящие в состав пиролизной жидкости, имеют низкую степень летучести; большое количество воды имеет существенное влияние на скорость испарения жидкого топлива, а схожесть в значении



скрытой теплоты других компонентов указывает на сходные модели поведения в поглощении тепла.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Схема промышленной установки для переработки отходов лесного комплекса / Д.В. Тунцев, Р.Г. Хисматов, А.М. Касимов, И.С. Романчева, А.С. Савельев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 3-2 (8-2). С. 445-448.

2. Технология быстрого пиролиза при энергетическом использовании низкокачественной древесины. / А.Н. Грачев, В.Н. Башкиров, И.А. Валеев, Р.Г. Хисматов, А.А. Макаров, Д.В. Тунцев // Энергетика Татарстана. 2008. №4. С. 16-20.

3. Установка переработки низкокачественной древесины в уголь / Р.Г. Хисматов, Е.В. Хисматова, Д.В. Тунцев, Хайруллина М.Р., Савельев А.С., Романчева И.С.// Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. №22. С. 297-300.

4. Схема контактного пиролиза отходов лесозаготовки / Д.В. Тунцев, Р.Г. Хисматов, А.М. Касимов, И.С. Романчева, А.С. Савельев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т2. № 2-3 (7-3). С. 146-149.

5. Лабораторный стенд для исследования процесса контактного пиролиза древесных отходов лесной промышленности/Д. В. Тунцев, Р. Г. Хисматов, А. М. Касимов, И. С. Романчева, А. С. Савельев // Воронежский научно-технический вестник. 2014. № 4 (10). С. 100-104.

Научное издание

Международный научно-технический Форум  
ПЕРВЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОСЫГИНСКИЕ ЧТЕНИЯ  
(МНТФ КОСЫГИН- 2017)

**Тематика чтений**

**«СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК»**

VI-ый Международный научно-технический Симпозиум  
«СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ СЭТТ – 2017»

Сборник научных трудов  
(Том 2)

11 - 12 октября 2017 года

Технический редактор  
ИП Полежаев П.В.

Компьютерная верстка  
ИП Полежаев П.В.

**Материалы публикуются в авторской редакции**

Подписано в печать 25.09.17 Формат бумаги 60x84/8  
Бумага множ. Усл.печ.л. 37,25 Заказ № 1170-Н Тираж 100

Редакционно-издательский отдел РГУ им. А.Н. Косыгина  
115035, Москва, ул. Садовническая, 33, стр.1  
e-mail: [riomgudt@mail.ru](mailto:riomgudt@mail.ru)

Отпечатано в РИО РГУ им. А.Н. Косыгина