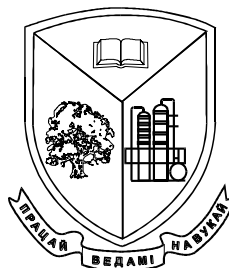


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»



**РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ОБОРУДОВАНИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

26 - 28 ноября 2014 г.

Материалы международной научно-технической конференции

В 2-х частях

Часть 2

Минск, 2014

УДК 502.174:005.745 (06)

ББК 65.9(2) : 31..15 я 73

Р44

Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии : материалы Междунар.науч.-техн. конф., Минск, 26–28 ноября 2014 г. : в 2 ч. – Минск : БГТУ, 2014. – Ч. 2. – 457 с.

ISBN 978-985-530-414-3

ISBN 978-985-530-036-7 (Ч.2)-416-7

Сборник составлен по материалам докладов Международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии», проведенной в белорусском государственном технологическом университете, которые отражают вопросы по следующим тематикам:

Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование в технологии неорганических веществ и строительных материалов; энергосбережение в процессах измельчения материалов; ресурсо- и энергосбережение в производстве и рециклинге полимерных материалов; ресурсо- и энергосберегающие технологии в нефтехимии; ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование в лесном комплексе и химической переработке древесины; ресурсо- и энергосберегающие технологии в электрохимическом производстве и производстве материалов электронной техники и наноматериалов; методы, приборы контроля объектов окружающей среды и продукции. автоматизированные системы контроля и управления; технические, технологические и экономические аспекты создания и применения экологически безопасных технологий; влияние процесса глобализации на развитие науки и образования.

Рецензенты: директор ГНУ «Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси» академик НАН Беларуси, д-р хим.наук Н.П.Крутько;

зав. кафедрой НТУ (КПИ), д-р хим.наук И.М. Астрелин
(г. Киев)

Редакционная коллегия:

Главный редактор

Члены редколлегии:

профессор И.М. Жарский

профессор Н.Р.Прокопчук

профессор И.А. Левицкий

профессор Н.В. Черная

профессор О.Б. Дормешкин

доцент В.Н. Марцуль

доцент А.А.Черник

доцент Д.С. Карпович

ISBN 978-985-530-414-3

ISBN 978-985-530-036-7 (Ч.2)-416-7

©УО «Белорусский государственный технологический университет», 2014

Сборник составлен по материалам докладов международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосбережение технологии и оборудование, экологически безопасные технологии», проведенной в Белорусском государственном технологическом университете, которые отражают актуальные проблемы энерго- и ресурсосбережения, науки и новых решений в технологиях и оборудовании неорганических и органических веществ, материалов и изделий, электрохимических производствах и материалах электронной техники, а также технологиях и оборудовании в лесном комплексе. Рассмотрены экономические аспекты и техника защиты, приборы и методы контроля качества объектов окружающей среды.

Конференция проводилась с целью повышения эффективности исследований и производства продукции в различных отраслях индустрии и расширения ее сырьевой базы.

В работе конференции приняли участие ученые и представители промышленности Беларуси, России, Украины, Казахстана, Литвы.

Тематика представленных докладов охватывает актуальные вопросы по следующим направлениям: ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование в технологии неорганических веществ и строительных материалов; энергосбережение в процессах измельчения материалов; ресурсо- и энергосбережение в производстве и рециклинге полимерных материалов; ресурсо- и энергосберегающие технологии в нефтехимии; ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование в лесном комплексе и химической переработке древесины; ресурсо- и энергосберегающие технологии в электрохимическом производстве и производстве материалов электронной техники и наноматериалов; методы, приборы контроля объектов окружающей среды и продукции. автоматизированные системы контроля и управления; технические, технологические и экономические аспекты создания и применения экологически безопасных технологий; влияние процесса глобализации на развитие науки и образования.

Состоявшиеся на конференции активные обсуждения сделанных докладов и дискуссии будут способствовать повышению эффективности научных исследований, направленных на разработку ресурсо- и энергосберегающих технологий, призванных снизить себестоимость продукции и обеспечить ее конкурентоспособность, а также внедрение в производство.

Председатель организационного комитета
Международной научно-технической конференции,
ректор БГТУ, профессор

И.М. ЖАРСКИЙ

СЕКЦИЯ № 4
РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ОБОРУДОВАНИЕ В ЛЕСНОМ КОМПЛЕКСЕ
И ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ

Председатель – Черная Наталья Викторовна, зав. кафедрой
химической переработки древесины, профессор, д-р техн. наук
Секретарь – Шпак Сергей Иванович, доцент кафедры химической
переработки древесины, канд. техн. наук

А.А. Сейтмагзимов, канд. хим. наук,
Г.М. Сейтмагзимова, доц., канд. хим. наук,
(Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова,
г. Шымкент, Казахстан)

Ю.В. Севастьянова
(Северный Арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Архангельск, Российская Федерация)

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА БУМАГИ ИЗ СОЛОМЫ ПШЕНИЦЫ

В настоящее время ученые многих стран разрабатывают новые способы производства бумаги из альтернативного сырья по безотходным схемам с полной утилизацией всех образующихся отходов [1–2]. Это особенно актуально для Казахстана, где образуются колоссальные запасы такого сырья, как солома пшеницы, а своих лесных запасов практически нет. Солома пшеницы является прекрасным источником для производства целлюлозы и бумаги из нее, что может позволить обрести нашей стране существенную независимость от импортных поставок целлюлозы, если разработать современную безотходную технологию ее производства. В этой связи представляет интерес процесс парового взрывного катализа растительного сырья [3–4], когда можно без применения токсичных реагентов и дорогих катализаторов существенно менять свойства сырья и тем самым облегчить его переработку. Хорошо зарекомендовал себя этот метод при подготовке сырья к ферментативному гидролизу при получении биотоплива [3–4], например, по методу фирмы “Andritz” (www.energybiosciencesinstitute.org/). Предыдущие попытки применить этот метод при получении целлюлозы из древесины пока не дали ощутимых преимуществ перед традиционными схемами, т.к. авторами применялись довольно жесткие режимы обработки сырья, что не всегда экономически оправданно.

В связи с этим мы изучили возможность получения сортовой бумаги из соломы пшеницы с применением взрывного автокатализа и делигнификации в слабых щелочах. Для исследований использовали солому пшеницы, произрастающей в Казахстане. По результатам анализа определен состав пшеницы (масс. %): зольность – 4,52; лигнин – 32,9, целлюлоза – 53,05, влага – 4,9.

Паровой взрыв осуществляли по простой периодической схеме: в интервале температур 160–200°C и давлении насыщенного пара от 1 до 2 МПа. Продукты реакции выстреливали в циклон, после чего влажное сырье подвергали делигнификации в 2%-ном растворе щело-

чи при температуре 80°C в течение 1 часа. Полученную целлюлозу подвергали размолу в аппарате ЦРА. Результаты помола характеризуются следующими параметрами целлюлозы: Каппа – 47,2, продолжительность размола – 27 минут, степень помола 58 °ШР.

Микрофотографии образцов соломы пшеницы свидетельствуют о том, что паровой взрыв приводит к деструкции волокон и прилегающих областей и даже к высвобождению отдельных волокон. Установлено, что пороговым значением для накопления морфологических изменений в сырье является давление 1,2 МПа и температура 170°C. Ниже этих пороговых значений изменения не столь существенны. Накопленные изменения в сырье в результате парового взрыва приводят к существенному изменению свойств сырья, т.е. облегчению делигнификации. Рисунок 1 показывает существенное падение параметра Каппа даже при водной экстракции лигнина, когда потери массы при водной промывке сырья достигают 20–25%.

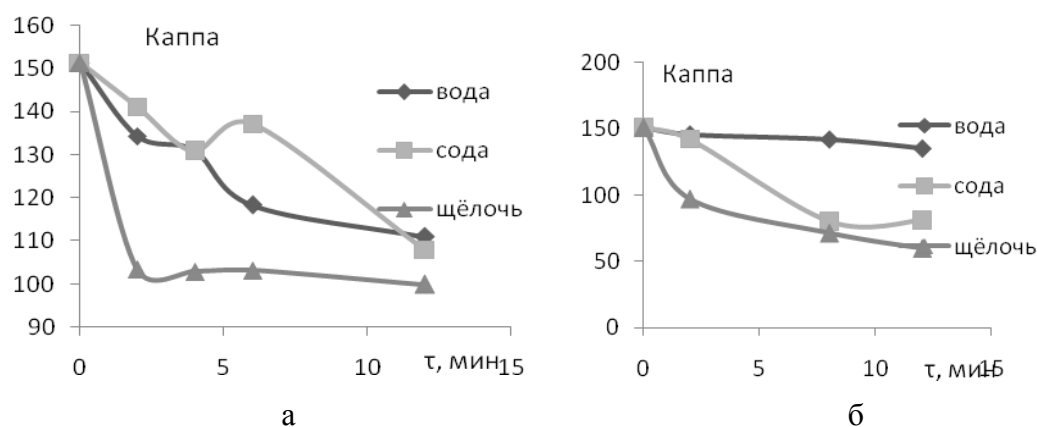


Рисунок 1 – Зависимость степени делигнификации (Каппа) соломы от времени при давлении парового гидролиза 1,2 МПа (а) и 1,7 МПа (б)

Определены структурно-размерные характеристики и показатели механической прочности волокон целлюлозы двух образцов на автоматическом анализаторе L&WFiberTester. Результаты представлены в таблице, где для сравнения приведены значения аналогичных измерений для макулатуры и древесины специального назначения [5]. Кроме того, определена белизна образцов.

Результаты анализа волокон свидетельствуют о том, что представленные образцы целлюлозы обладают хорошим потенциалом бумагообразующих свойств в сравнении с образцами сульфатной небеленой целлюлозы из осиновой древесины. Основные потребительские показатели бумаги, полученной по предлагаемой технологии, практически не отличаются от показателей бумаги из лиственной древесины,

полученной по сульфатной технологии, и удовлетворяют требованиям ГОСТ на листовенную целлюлозу. Так, показатели механической прочности, такие, как разрывная длина, сопротивление продавливанию и раздиранию, работа разрушения имеют близкие показатели. Целлюлоза из соломы значительно отличается от традиционной повышенной содержанием мелочи почти на порядок. Это вполне может сказаться на влаговпитывающих свойствах бумаги. Прочностные характеристики блененой целлюлозы сопоставимы с таковыми для сульфатной целлюлозы; кроме того, блененая целлюлоза обладает очень высоким потенциалом деформационных свойств.

Таблица 1 – Сравнение показателей качества лабораторных образцов и листовенной сульфатной блененой целлюлозы

Образец №	Структурно-размерные характеристики бумаги			Показатели прочности			
	Белизна, % ISO	Средняя толщина образца, (δ), мкм	Плотность, (ρ), г/см ³	Разрывная длина, (L) м	Сопротивление продавливанию, (Π), кПа	Прочность на излом при многократных перегибах (N)	Сопротивление раздиранию(R), мН
1	23,95	94,3	0,731	6550	345	450	406
2	28,70	90,0	0,753	7300	283	425	381
По ГОСТ 14940-96	От 82 до 86	–	–	От 6200 до 7800	–	–	290 и более
По ГОСТ 28172-89	От 80 до 89	–	–	6000 и более	–	300 (и не нормируется)	300 (и не нормируется)
Небеленая ЛСФаЦ	22,00	–	0,820	6900	350	800	310
Образец №	Характеристики деформативности						
	Жесткость при растяжении (St), кН/м	Работа разрушения (TEA), Дж/м ²	Разрушающее напряжение, (σ), МПа	Разрушающая деформация, (ε), %			
1	395	102	48,0	2,81			
2	475	104	55,1	2,28			
По ГОСТ 14940-96	–	–	–	–			
По ГОСТ 28172-89	–	–	–	–			
Небеленая ЛСФаЦ	540	115	68,7	2,80			

Результаты анализа образцов целлюлозы позволили установить, что методом взрывного автокатализа соломы пшеницы достигается необходимая степень деструкции сырья, при которой можно проводить делигнификацию в мягких условиях, т.е. в слабом растворе щелочи и при низкой температуре. Паровая обработка существенно облегчает делигнификацию и позволяет получать целлюлозу без суще-

ственной собственной деструкции, что подтверждается качественными показателями волокна. Прочностные свойства полученной бумаги свидетельствуют о том, что солома пшеницы удовлетворяет требованиям ГОСТ на листовую целлюлозу и может быть использована как альтернативное сырье для получения бумаги.

ЛИТЕРАТУРА

1 Вураско, А.В. и др. Технология получения целлюлозы из недревесного растительного сырья /А.В. Вураско, А.Р. Минакова, Б.Н. Дрикер, В.П. Сиваков, А.М. Косачева. Химия растительного сырья, 2010. – № 2. – С. 165–168.

2 Rousu, P. et. al. Sustainable pulp production from agricultural waste /P. Rousu, P. Rousu, J. Anttila. Resources, Conservation and Recycling, Vol. – 35, 2002. – p.85–103.

3 Кузнецова, С.А. и др. Состав и превращения основных компонентов автогидролизованной древесины сосны, ели и осины /С.А.Кузнецова, Н.Б.Александрова, Б.Н. Кузнецов. Химия в интересах устойчивого развития, 9, 2001.– С.655–665.

4 Putnina, A. et. al. Steam Explosion as the Pretreatment Method of Lignocellulosic Biomass /A. Putnina, S. Kukle, J. Gravitis. Material Science: Textile and Clothing Technology, 2012. – № 7. – p. 80–83.

5 Карманова, Т.Е. и др. Сравнение степени воздействия факторов сульфатной варки на химический состав и вязкость лиственной и хвойной целлюлозы. Сообщение 1. Влияние температуры и продолжительности варки / Т.Е. Карманова, В.И. Комаров, Л.А. Миловидова. Химия растительного сырья, 2010. – № 4. – С. 37–40.

УДК [668.486:66.061.51:634.0892.6]:51.001.57

Н.А. Кутакова, проф., канд. техн. наук
Е.Н. Коптелова, ст. препод., канд. техн. наук
С.И. Третьяков, проф., канд. техн. наук
М.Л. Милькова, аспирант

(САФУ имени М.В. Ломоносова, Россия, г. Архангельск)

РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЕТУЛИНОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Бетулин (бетулинол) – тритерпеновый спирт ряда лупана, ценное биологически активное вещество – выделяют из наружного слоя березовой коры. Опубликованные авторами [1,2] материалы не содержат сведений о происхождении сырья для извлечения бетулина. В основе получения бетулина используется метод неизобарного парокрекинга, щелочной гидролиз с последующей экстракцией органическими растворителями, флюидная экстракция и другие методы, включающие многостадийные процессы с большим потреблением энергии. Бетулин – основной компонент экстрактивных веществ (ЭВ) бересты, его можно выделить при частичном упаривании экстракта путем осаждения водой, в воде он не растворим.

В САФУ разработан способ получения бетулина из отходов окорки березовой древесины, основанный на экстракционном извлечении вещества этиловым спиртом с применением СВЧ-нагрева [3]. При разработке технологии использовали техническую кору от мокрой окорки сырья Архангельского фанерного завода. Кора после подсушивания легко разделяется на луб и бересту, береста содержит в среднем 32% бетулина и может быть использована для его выделения методом экстракции 86–95%-ным спиртом. Предварительное частичное удаление водорастворимых веществ во время мокрой окорки приводит к обогащению бересты бетулином.

Экстракционные технологии длительны, связаны с нагревом до температуры кипения экстрагента и выдержки в изотермическом режиме не менее 3–4 ч, требуют определенных энергозатрат на регенерацию растворителя. Метод СВЧ-нагрева обеспечивает быстрое формирование поля температур в пористых частицах, равномерный нагрев по всей массе материала, значительное сокращение общей продолжительности обработки, что в целом приводит к существенной экономии энергозатрат.

Исследования проведены на установке с бытовой СВЧ-печью, в крышке которой просверлено отверстие для обратного холодильника к реактору. Предварительно измельченная береста загружается в реактор, заливается определенное количество этилового спирта, реактор

соединяется с обратным холодильником, через который проходит вал мешалки. Включается СВЧ-нагрев и мешалка, обеспечивающая скорость вращения 100–800 об/мин.

Через 40–50 секунд происходит нагрев смеси со вскипанием спирта, пары конденсируются, и конденсат возвращается в реактор на орошение; периодически вскипания повторяются. Парообразование связано с вторичными эффектами действия электромагнитного поля; первичное действие заключается в его взаимодействии с системой полярных молекул (этиловый спирт), диссипацией энергии ориентационной поляризации дипольных молекул и трансформации энергии в теплоту [4]. Таким образом, потребление тепловой энергии значительно сокращается.

На графике (рисунок 1) показана кинетика извлечения ЭВ и бетулина с СВЧ-нагревом и без СВЧ. При исследовании кинетики извлечения веществ из бересты периодически производили отбор экстрактов. За нарастанием концентрации ЭВ следили с помощью весового метода (высушивание отобранного объема раствора). Количественное содержание бетулина в экстракте определяли методом ВЭЖХ. 90%-ная степень извлечения ЭВ и 70%-ная степень извлечения бетулина наблюдается через 90 мин без СВЧ-обработки и через 10 мин – в СВЧ-камере. Достижение степени извлечения, равной 50%, при обычной экстракции составляет 16–20 мин, а при СВЧ – менее одной мин.

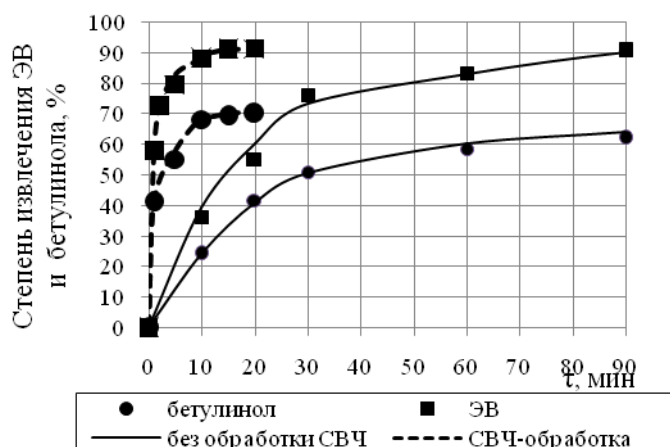
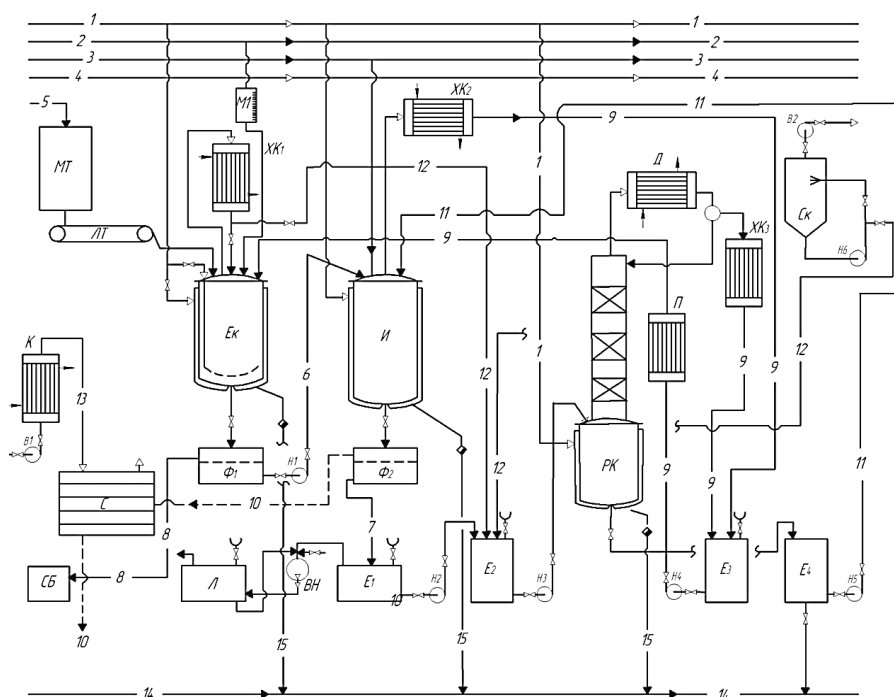


Рисунок 1 – Влияние СВЧ-обработки на кинетику извлечения ЭВ и бетулина

Скорость экстрагирования в СВЧ-поле повышается в 10–15 раз вследствие высокой скорости внутреннего прогрева бересты в полярном растворителе, его вскипания в клетках бересты и интенсивного выброса образовавшегося экстракта в окружающий растворитель.

Бетулин из технической бересты имеет молочный цвет, температуру плавления 233...236°С. Для повышения качества продукта осуществлена его перекристаллизация, в результате чего получен продукт белого цвета с температурой плавления 256...258°С (по справочным данным 256...261°С). Содержание бетулина в образце по методу ВЭЖХ составляет 92...93% от суммы ЭВ.



- МТ – табако-резательная машина; ХК₁₋₃ – холодильник-конденсатор;
 К – калорифер; П – подогреватель; Н₁₋₆ – насос; М₁ – мерник; Ск – скруббер;
 Ек – экстрактор; И – испаритель; РК – ректификационная колонна;
 ЛТ – транспортерленточный; ВН – вакуум-насос; Е_{1,4} – емкость; Е₂ – сборник разбавленного спирта; Е₃ – сборник оборотного спирта; В_{1,2} – вентилятор;
 СБ – сборник отработанной бересты;
 —1—1 – водяной пар; —2—2 – 86%-ный этиловый спирт; —3—3 – вода;
 —4—4 – воздух; —5—5 – береста; —6—6 – спиртовой экстракт; —7—7 – упаренный экстракт; —8—8 – отработанная береста; —9—9 – оборотный спирт;
 —10—10 – бетулиновый концентрат; —11—11 – кубовый остаток;
 —12—12 – разбавленный спирт; —13—13 – горячий воздух; —14—14 – стоки;
 —15—15 – конденсат.

Рисунок 2 – Схема производства бетулинового концентрата

Качественный и количественный состав продуктов экстракции технической бересты исследовался на хромато-масс-спектрометре GCMS-QP 2010 Plus фирмы Shimadzu (Анализ проведен в ЦКП «Арктика» САФУ) с использованием библиотеки масс-спектров NIST 2008. Индекс сходства с табличными спектрами превышал 80%. Основной

фракцией этанольного экстракта бересты являются два тритерпеноида: бетулин и лупеол, содержание которых составляет 70,6...78,8 и 26,3...13,2% от суммы ЭВ соответственно.

При разработке технологии бетулинового концентрата из технической бересты определено влияние основных технологических факторов экстракции, установлены способ подготовки сырья и оптимальная степень его измельчения, изучены кинетические закономерности экстракции [5]. Технологическая схема бетулинового концентрата представлена на рисунке 2.

По разработанной технологии спиртовой экстракции технической бересты проведена выработка в производственных условиях Архангельского опытного водорослевого комбината на основном оборудовании. Получена партия бетулинового концентрата, составлен лабораторный регламент производства.

Использование отходов деревообработки с получением ценного продукта для фармацевтической, химической и пищевой промышленности, на наш взгляд, следует признать перспективным решением проблемы ресурсосбережения, заслуживающим внимания производителей. Экономия энергии при реализации СВЧ-экстракции бересты составляет не менее 30%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2264411 РФ, С1 С07J53/00, С07J63/00. Способ получения бетулина / Кузнецова С.А., Кузнецов Б.Н., Михайлов А.Г., Левданский В.А. Оpubл.: 20.11.2005. – Бюл. № 15.

2. Левданский В.А. Комплексная переработка древесной коры с использованием процессов экстракции и взрывного автогидролиза: автореф. дис. ... д-ра хим. наук. – Красноярск, 2006. – 40 с.

3. Пат. 2501805 РФ, С1 С07J53/00. Способ получения бетулина из бересты / Коптелова Е.Н., Богданович Н.И., Кутакова Н.А., Третьяков С.И. Оpubл.: 20.12.2013. – Бюл. № 35.

4. Глуханов, Н.П. Физические основы высокочастотного нагрева / Н.П. Глуханов. – Л.: Машиностроение, 1979. – 61 с.

5. Коптелова Е.Н. Получение бетулинового концентрата из технической бересты спиртовой экстракцией: автореф. дис. канд. техн. наук. – Архангельск, 2013. – 23 с.

УДК 674.213 (043.3)

А.А. Барташевич, проф., почетный д-р,
Л.В. Игнатович, доц., канд. техн. наук,
С.С. Утгоф, мл. н. с.,
(БГТУ, г. Минск),

Е. В. Коробко, проф., д-р техн. наук
(ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, г. Минск)

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УПЛОТНЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Рациональное, ресурсосберегающее использование лесосырьевых ресурсов является одной из основных задач лесной и деревообрабатывающей промышленности. Из продукции деревообработки значительный объем сырья потребляют напольные покрытия – различные виды паркетных изделий и доски пола. Спрос на эти изделия стабильный, ежегодно исчисляется сотнями тысяч квадратных метров.

В последние годы предпочтение отдается многослойным паркетным изделиям, в частности паркетным доскам с лицевым слоем из древесины твердолиственных пород. Основным сырьем для их производства является древесина дуба – благодаря высокой твердости, износостойкости и прочности, а также хорошему внешнему виду. Но твердолиственных пород мало, они составляют не более 3,5% от основных лесообразующих, имеют высокую стоимость.

Доля мягколиственных пород древесины не менее 33%. Они дешевле, но значительно уступают твердолиственным по физико-механическим и эксплуатационным показателям, поэтому не нашли широкого применения в качестве лицевого слоя.

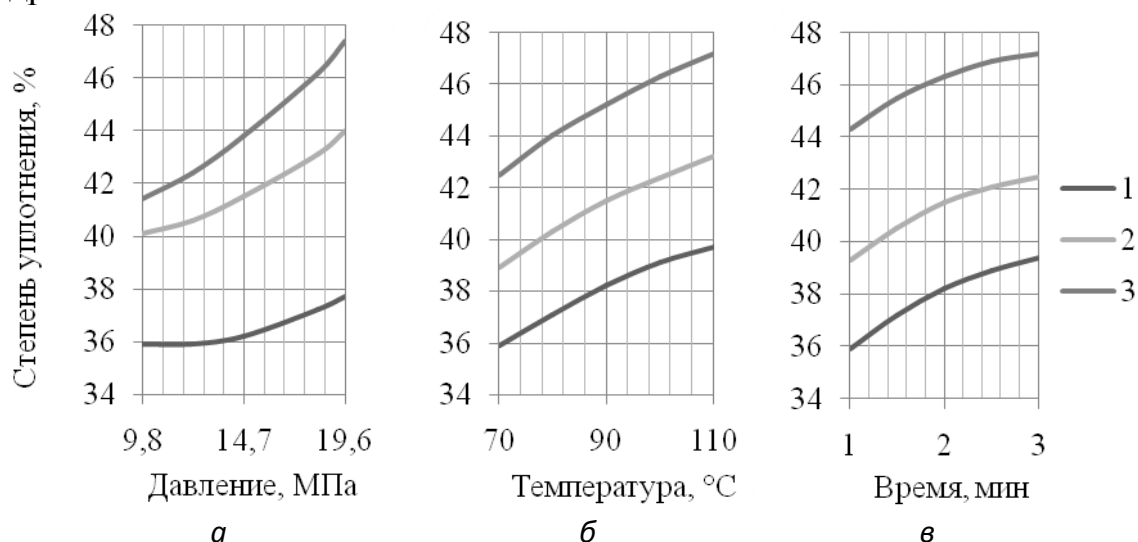
Улучшить физико-механические свойства можно методом термомеханического модифицирования.

Для создания лицевого слоя многослойных паркетных изделий принята древесина ольхи и березы. Они наиболее распространенные в Беларуси (береза – 23%, ольха черная – 8,5%), хорошо красятся и обрабатываются.

Изучено влияние основных технологических факторов (давления, температуры и продолжительности прессования) на физико-механические свойства термомеханически модифицированной древесины. При проведении опытов был принят следующий диапазон варьирования переменных факторов: давление прессования 9,8–19,6 МПа, температура плит пресса 70–110°C, продолжительность прессования 1–3 мин. В качестве выходных параметров были приняты важнейшие физико-механические свойства: степень уплотнения (%),

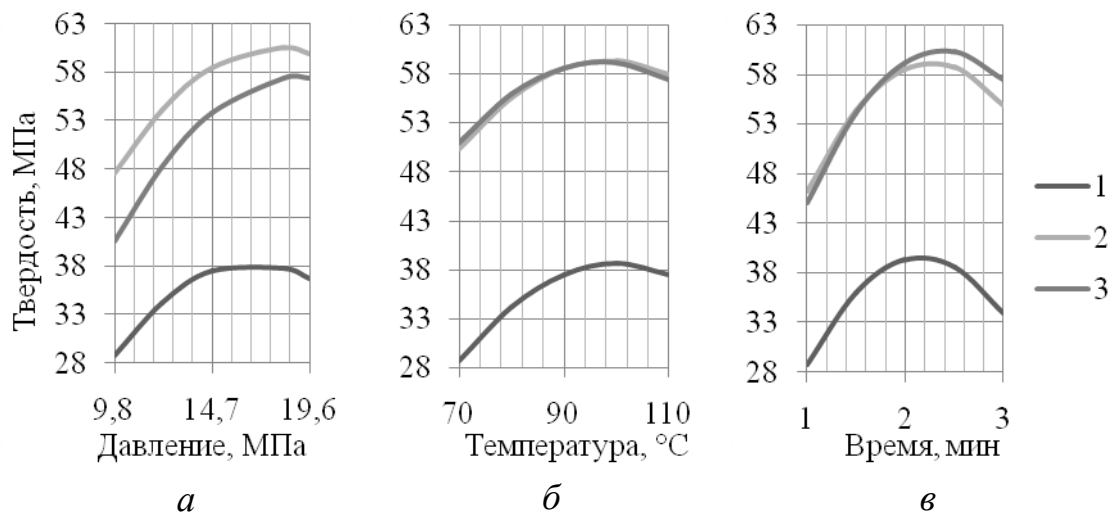
твердость (МПа), износостойкость (г/1000 оборотов по абразиметру Табера), влагопоглощение (%).

В результате реализации матрицы планирования были получены уравнения регрессии для всех выходных параметров. По уравнениям построены графические зависимости выходных параметров от переменных факторов. В качестве примера они приведены на рис.1–3 для древесины ольхи.



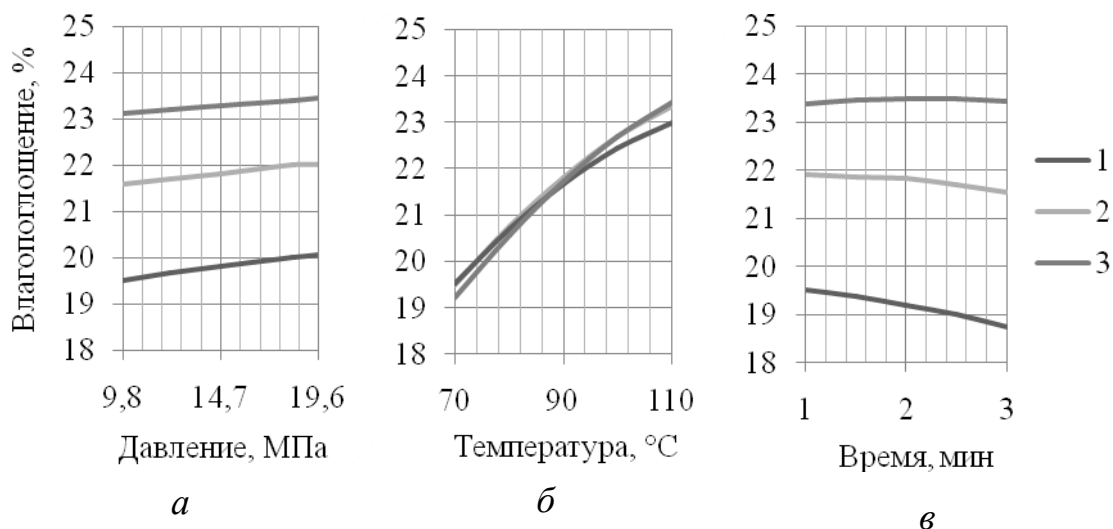
1 – нижний; 2 – средний; 3 – верхний уровень варьирования переменных факторов

Рисунок 1 – Влияние давления (а), температуры (б) и времени уплотнения (в) на степень уплотнения древесины ольхи



1 – нижний; 2 – средний; 3 – верхний уровень варьирования переменных факторов

Рисунок 2 – Влияние давления (а), температуры (б) и времени уплотнения (в) на твердость древесины ольхи



1 – нижний; 2 – средний; 3 – верхний уровень варьирования переменных факторов

Рисунок 3 – Влияние давления (а), температуры (б) и времени уплотнения (в) на влагопоглощение древесины ольхи

Функция, описывающая зависимость твердости уплотненной древесины ольхи от давления, времени и температуры прессования имеет оптимум 62,3 МПа (на 19% выше твердости дуба) в изучаемом диапазоне переменных факторов при значениях: давления 18,3 МПа, температуры 98,1 С° и времени прессования 2,4 мин.

Полученные зависимости позволили разработать рекомендации по назначению режимов термомеханического модифицирования древесины ольхи и березы в зависимости от приоритетности выходного показателя.

Результаты исследований показывают, что уплотнение древесины в изученных условиях приводит к значительному увеличению плотности: на 36,4–48,9% (716,1–781,7 кг/м³) для древесины ольхи и на 22,4–39,8% (783,4–894,7 кг/м³) для древесины березы. Значение тангенциальной твердости древесины ольхи и березы составляет 31,1–62,3 Н/мм² и 32,4–64,5 Н/мм² соответственно. Твердость уплотненной древесины березы и ольхи для разработанных режимов достигает и даже превышает значения твердости древесины дуба 52,5 МПа на 4,0 и 19,0% (54,5 и 62,3 МПа). Относительно первоначальной твердости ольхи и березы значение твердости после модифицирования улучшилось максимально на 92–99%.

В таблице приведены режимы термомеханического модифицирования и показатели физико-механических свойств уплотненной древесины ольхи и березы.

Таблица – Режимы модифицирования и физико-механические свойства

Значения переменных факторов, устанавливающих режим модифицирования			Показатели физико-механических свойств древесины			
Давление, МПа	Температура, °С	Время прессования, мин	Плотность, кг/м ³	Твердость, МПа	Износостойкость, г/1000 об	Влагопоглощение, %
Ольха						
19,6	110	3,0	773*	57,4	0,075*	23,4
18,3	98,1	2,4	760	62,3*	0,109	22,6
9,8	70	3,0	731	33,9	0,174	18,7*
Береза						
19,6	110	3,0	896*	53,8*	0,086*	18,8
9,8	70	2,0	771	37,5	0,181	13,6*

* Наибольшие значения показателей плотности и твердости и наименьшие значения показателей износостойкости и влагопоглощения.

Приоритетным показателем физико-механических свойств древесины для производства многослойных паркетных изделий считается твердость. Основными режимами термомеханического модифицирования являются режимы, обеспечивающие максимальные показатели твердости уплотненной древесины ольхи: (давление прессования $P = 18,3$ МПа, температура прессования $T = 98,1$ °С, время прессования $t = 2,4$ мин) и березы (давление $P = 19,6$ МПа, температура $T = 110$ °С и время прессования $t = 3,0$ мин).

Разработанный на основе экспериментальных исследований режим термомеханического модифицирования древесины ольхи был апробирован в производственных условиях. Годовой ожидаемый экономический эффект от замены древесины дуба термомеханически модифицированной древесиной ольхи на ОАО «Гомельдрев» филиал «Паркетный завод» составил 2 131,0 млн. руб. из расчета на 100 тыс. м² многослойной паркетной доски (в ценах на 2013 г.) [1]. Это свидетельствует о практической значимости полученных результатов исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Утгоф, С.С. Оценка экономической эффективности производства многослойных паркетных покрытий с лицевым слоем из уплотненной термомеханическим способом древесины березы и ольхи / С.С. Утгоф, Л.В. Игнатович // Труды БГТУ. 2014. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-ть. – С. 100–104.

УДК 674.055

П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук,
Д.В. Куис, зав. каф., доц., канд. техн. наук,
О.Г. Рудак, ассист., магистр техн. наук,
(БГТУ, г. Минск)

А. Балтрушайтис, зав. каф., доц., канд. техн. наук,
Г. Кятуракис, преподаватель
(Каунасский технологический университет, Литва)

АСПИРАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФРЕЗЕРНЫХ ГРУПП ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

На сегодняшний день широкое распространение получили деревообрабатывающие станки с числовым программным управлением (ЧПУ) на которых за одну установку заготовки на рабочем столе реализуют поочередно различные операции.

Одним из наиболее часто осуществляемых процессов является фрезерование, которое сопровождается образованием большого количества отходов обработки – стружки и пыли. При этом пылестружкоприемники классических конструкций не всегда обеспечивают требуемый высокий уровень эффективности аспирации [1].

Целью работы является повышение эффективности аспирации в процессе фрезерования плитных древесных материалов при различных направлениях вектора подачи инструмента.

Разработано вытяжное устройство обрабатывающего центра, состоящее из колпака-стружкоприемника со щелевидным воздухозаборником, и гибкой юбкой с широким разрывом со стороны колпака-стружкоприемника, противоположной щелевидному воздухозаборнику [2, 3]. Разрыв гибкой юбки обеспечивает свободное поступление воздуха в стружкоприемник и при закрытии нижней части вытяжного устройства обрабатываемым материалом, что характерно для случая раскроя плитных древесных материалов хвостовыми фрезами.

Недостатком описанного устройства является зависимость эффективности аспирации стружки и пыли в процессе резания от направления вектора подачи инструмента [4].

Данное вытяжное устройство наиболее эффективно в случае, когда широкий разрыв гибкой юбки-ограждения оказывается по ходу подачи инструмента (рисунок 1, верхний левый угол).

В этом случае сноп стружки выбрасывается инструментом в направлении воздухозаборника.

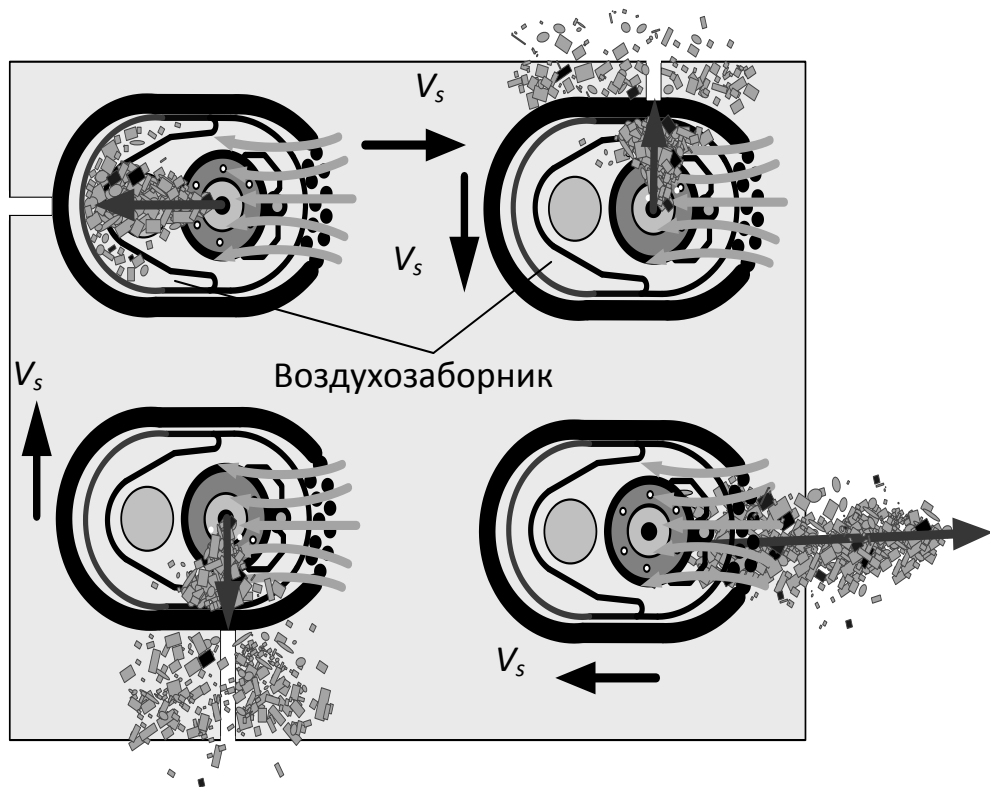


Рисунок 1 – Схема, поясняющая влияние направления вектора подачи инструмента на эффективность аспирации стружки и пыли в процессе резания

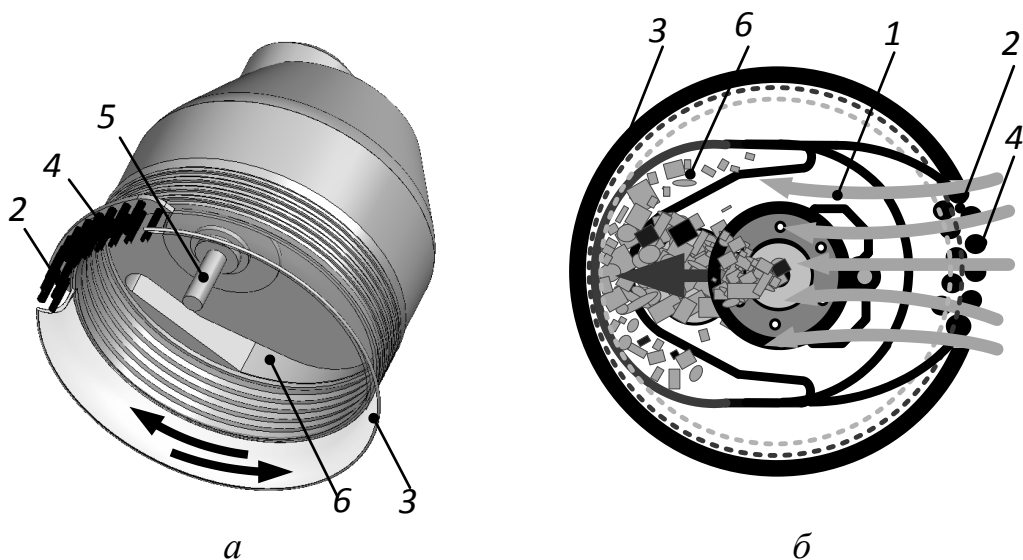


Рисунок 2 – Внешний вид (а) и схема (б) вытяжного устройства с возможностью поворота относительно оси вращения инструмента

Разработанная методика аспирации предполагает применение поворотного вытяжного устройства, состоящего из колпака-стружкоприемника с прикрепленной к гофрированной юбке гибкой юбкой-ограждением с изогнутой образующей и с широким разрывом со сто-

роны колпака-стружкоприемника, противоположной щелевидному воздухозаборнику, и несколькими рядами щеточных пучков, размещенными в разрыве в шахматном порядке, имеющего патрубок для соединения с источником пониженного давления (рисунок 2). В процессе работы в вытяжном колпаке-стружкоприемнике формируется воздушный поток 1 благоприятного с точки зрения удаления отходов обработки направления – в результате прохождения воздуха в колпак-стружкоприемник через широкий разрыв 2 гибкой юбки-ограждения 3, между щеточными пучками 4, инструмент 5 и отводом воздуха через щелевидный воздухозаборник 6, оканчивающийся патрубком, соединенным с источником пониженного давления.

Отходы обработки – стружка, пыль, мелкие частицы обрабатываемого материала в процессе резания отделяются от заготовки и выбрасываются из межзубых впадин инструмента 5. В связи с выбросом отходов обработки в сторону благоприятно направленного воздушного потока 1, происходит их эффективное всасывание в щелевидный воздухозаборник 6, находящийся на пути движения снопа отходов обработки.

В процессе применения вытяжное устройство поворачивают относительно оси вращения инструмента и устанавливают разрывом гибкой юбки-ограждения по ходу подачи инструмента так, что бы проекция вектора скорости подачи V_{sx} и проекция разрыва гибкой юбки-ограждения p_x на плоскость обрабатываемого плитного древесного материала были взаимно перпендикулярны, и в процессе фрезерования при повороте вектора подачи инструмента на угол φ одновременно на такой же угол φ поворачивают вытяжное устройство (рисунок 3).

Благодаря использованию кинетической энергии стружки и пыли, обеспечиваемому расположением воздухозаборника на пути выхода отходов обработки из зоны резания, организации в вытяжном устройстве воздушного потока благоприятного направления, частичной герметизации зоны аспирации достигается повышение эффективности и сокращение энергетических затрат на аспирацию.

Описанный способ аспирации при фрезеровании плитных древесных материалов можно использовать при обработке древесностружечных плит, древесноволокнистых плит, плит MDF и других плитных древесных материалов на станках с ЧПУ с верхним расположением фрезерного шпинделя на деревообрабатывающих, мебельных, столярно-строительных предприятиях, а также в производствах музыкальных инструментов, авиа- и вагоностроении, сельхоз-машиностроении, автостроении, при конструировании и модернизации дереворежущих станков; проектировании пылестружкоприемников, систем аспирации.

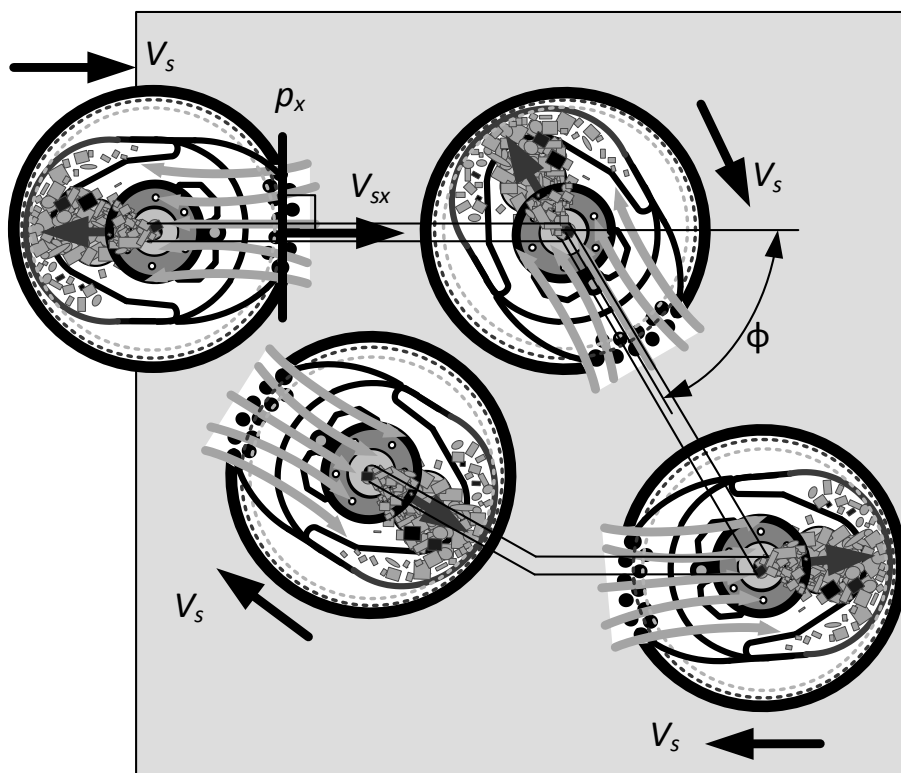


Рисунок 3 – Применение вытяжного устройства с возможностью поворота относительно оси вращения инструмента

ЛИТЕРАТУРА

1 Рудак, П. В. Эффективное удаление стружки и пыли из области обработки в процессе фрезерования древесных материалов / П. В. Рудак, Д. В. Куис // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы Международ. науч.-техн. конф., Минск, 24–26 нояб. 2010 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2010.

2 Рудак, П. В. Снижение шумовых характеристик и повышение эффективности удаления стружки из зоны резания при эксплуатации дереворежущих машин / П. В. Рудак, Д. В. Куис // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2011. – Вып. XIX. – С. 245–247.

3 Рудак, П. В. Совершенствование систем аспирации в деревообработке / П. В. Рудак, О. Г. Рудак, А. Балтрушайтис, Г. Кятуракис // Энергоэффективность. – 2013. – №6. – С. 24–27.

4 Рудак, П. В. Моделирование процесса движения элемента стружки в стружечной канавке фрезы при обработке плитных древесных материалов / П. В. Рудак и др. // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2013.

М.Г. Белецкая, ассист.;
Н.И. Богданович, проф., д-р техн. наук;
Ю.А. Саврасова, асп.
(САФУ им. Ломоносова, г. Архангельск)

ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ АДсорбЕНТОВ ИЗ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА

Комплексное рациональное использование биоресурсов и, в частности, древесины, является одним из приоритетных направлений науки и важнейшей задачей в области безотходных производств. Лесоперерабатывающая промышленность дает огромное количество отходов, значительную часть которых составляют так называемые технические лигнины. Однако сами технические лигнины являются хорошим исходным сырьем для получения активных углей, в которых есть острая необходимость для решения экологических и технологических проблем. Несмотря на множество предложенных решений по переработке гидролизного лигнина в продукты, необходимые в различных областях, все они не нашли пока широкого промышленного применения.

На данный момент достаточно актуальным является совершенствование способов производства АУ в целях повышения их физико-механических и адсорбционных свойств, а также направленного формирования пористой структуры. Из методов активации углеродсодержащего сырья находят применение парогазовые и термохимические (ТХА). Последние в настоящее время приобретают все большее значение. Это объясняется тем, что химические методы, в частности, с использованием гидроксидов щелочных металлов, позволяют получать адсорбенты со строго заданными параметрами пористой структуры и высокими показателями адсорбционных свойств. О промышленной реализации подобных процессов синтеза АУ в литературных источниках сведений практически не имеется, но приводятся результаты широких экспериментальных исследований, проводимых в данной области в различных странах.

Определяющими факторами при синтезе АУ с использованием методов термохимической активации являются выбор и дозировка активирующего агента, и температура процесса. В качестве активирующего агента могут быть использованы ортофосфорная кислота, гидроксиды щелочных металлов, карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов, оксид кальция, хлориды. Имеется большое количество свидетельств о применении NaOH в качестве активирующего реагента и его эффективности в синтезе адсорбентов методами термохимической активации различных углеродсодержащих материалов [1, 2]. О

возможности получения АУ из гидролизного лигнина с использованием NaOH в качестве активирующего агента были проведены и нами [3].

На основании накопленных данных целью настоящей работы явилось изучение влияния условий синтеза активированных углей на выход, адсорбционные свойства и пористую структуру АУ. Предварительные исследования позволили предположить, что расход NaOH на активацию древесных материалов можно существенно снизить за счет их предварительной термообработки (предпиролиза), что является действующим регулятором не только расхода реагента, но и адсорбционных свойств получаемых активных углей [2]. Поэтому синтез адсорбентов осуществлялся в 2 стадии: карбонизация гидролизного лигнина, и последующая активация угля-сырца. Использование многофакторного планированного эксперимента позволило оптимизировать температурные режимы и дозировку основного активирующего агента.

Полученные экспериментальные данные были использованы для расчета коэффициентов уравнений регрессии второго порядка. Уравнения со значимыми коэффициентами, адекватно описывающими процесс, являются математическими моделями. Все полученные уравнения регрессии, оказались адекватными экспериментальным данным при доверительной вероятности 95%. Интервалы варьирования независимых переменных для синтеза адсорбентов были следующими: дозировка NaOH 1,3–2,1 г/г к а.с. лигнину, температура предпиролиза 350–450°C, температура термохимической активации (ТХА) 600–750°C.

Максимальный выход активного угля наблюдается в области температур предпиролиза около 400 °С. Адсорбционные свойства синтезированных АУ возрастают в области исследования с повышением температуры как предпиролиза ($T_{\text{ПП}}$), так и термохимической активации. Причем абсолютное значение удельной адсорбции метиленового голубого (МГ), йода и гексана были следующими: 1070 мг/г, 1500 мг/г и 760 мг/г соответственно. Развитие адсорбционных свойств активных углей происходит как за счет адсорбции йода (рисунок 2), так и МГ (рисунок 1). Об этом же свидетельствуют данные по адсорбции гексана из газовой фазы, который адсорбируется преимущественно в микропорах.

Для исследования пористой структуры синтезируемых адсорбентов были получены изотермы низкотемпературной адсорбции азота. Все изотермы адсорбции, полученные для образцов серии, имеют I тип по классификации ИЮПАК, характерный для микропористых твердых тел, у которых преобладают щелевидные поры, развитая микропористая система, и относительно невысокий объем пор других размеров.

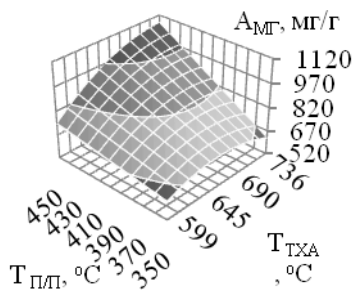


Рисунок 1 – Поверхности отклика осветляющей способности по МГ при температура ТХА 725°С

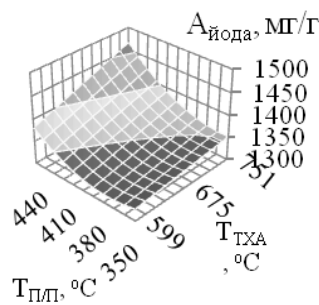


Рисунок 2 – Поверхности отклика адсорбции йода АУ при дозировке NaOH 1,7 г/г

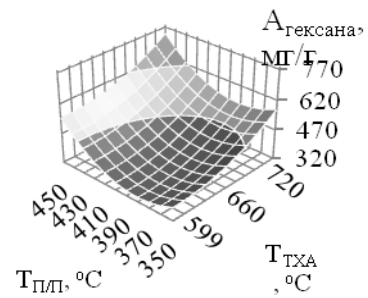
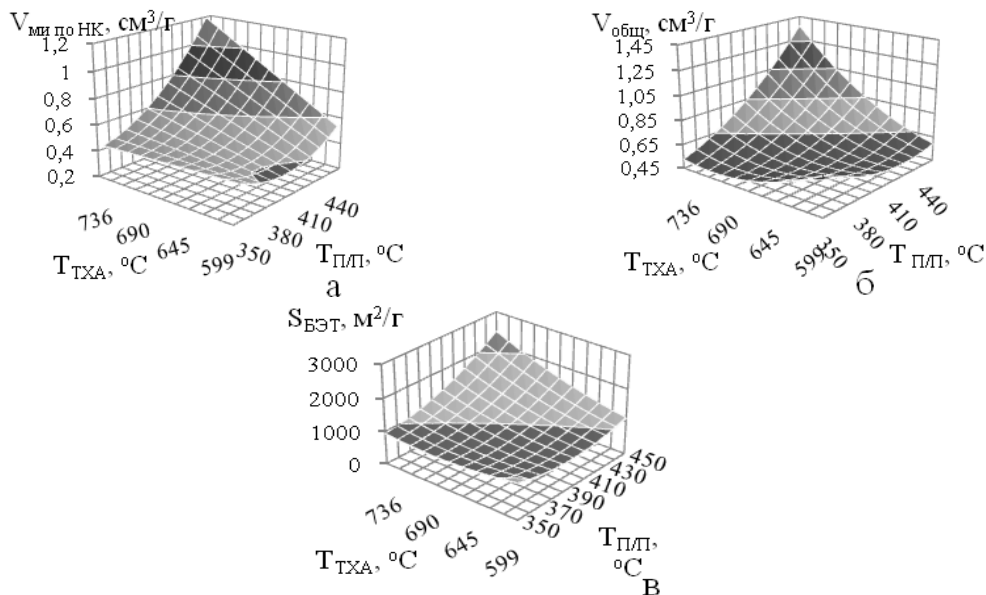


Рисунок 3 – Поверхности отклика адсорбции гексана АУ при дозировке NaOH 1,7 г/г

Изотермы были обработаны по уравнению БЭТ в интервале относительных давлений 0,05–0,35, объемы и распределение микропор по размерам в исследованных материалах оценивались методом Horvath-Kawazoe и БЭТ.



а) общий объем пор по БЭТ, см³/г; б) объем микропор по Horvath-Kawazoe, см³/г; в) удельная поверхность по БЭТ, м²/г

Рисунок 4 – Влияние режимных параметров на формирование пористой структуры активированных углей по показателю

Зависимости влияния температурных факторов на объемы микропор, определенные по методу Дубинина-Астахова и по методу Horvath-Kawazoe, имеют аналогичный характер. Как и следовало ожидать, наиболее высокие значения общего объема сорбирующих пор и объема микропор получены при максимальных значениях в условиях экспериментальных температур предпиролиза и активации. Увеличению объема микропор способствует повышение температуры предпиролиза и термохимической активации. Следует отметить, что объем микропор в полученных

образцах составляет 85–90% от общего объема пор. На основании проведенных исследований была разработана принципиальная технологическая схема производства порошкообразного активированного угля из ГЛ методом ТХА в присутствии NaOH. Процесс получения активных углей является непрерывным. Основные стадии процесса представлены на блок-схеме.

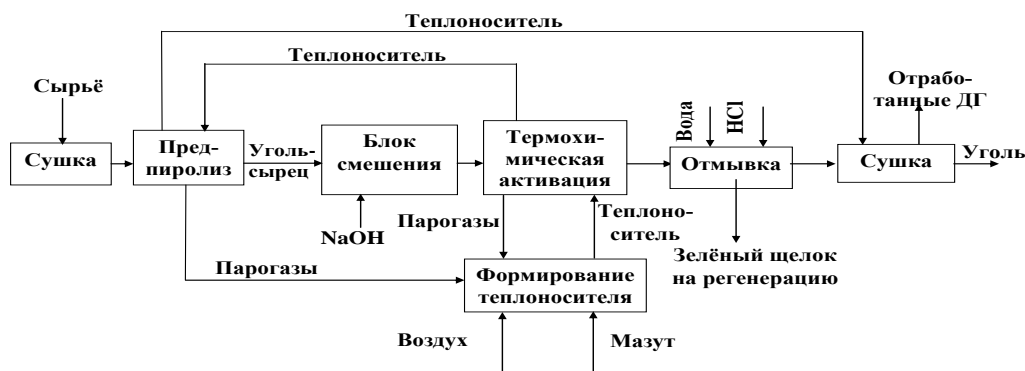


Рисунок 5 – Блок-схема процесса производства активного угля из ГЛ методом ТХА в присутствии NaOH

Перед стадией предпиролиза происходит высушивание сырья. На стадии предпиролиза осуществляется испарение остаточной влаги и частичная отгонка органической части сырья, которые переходят в парогазы и подаются на сжигание и формирование теплоносителя перед стадией пиролиза. Полученный уголь-сырец поступает в смеситель, туда же подается раствор NaOH. Реакционная масса подается в реактор непрерывного действия для термообработки. Активный уголь из реактора поступает в приемник, туда же подается вода для его отмывки и охлаждения. Промытый активный уголь поступает на сушку. Высушенный уголь с влажностью 10% поступает на упаковку и складировается.

Предложенная технология позволяет получать углеродные адсорбенты из гидролизного лигнина в оптимальных условиях синтеза удельная поверхность которых достигает $1600 \text{ м}^2/\text{г}$ по БЭТ, пористая структура представлена на 90% супермикропорами. Полученные АУ в 2–4 раза превосходят по своим адсорбционным свойствам промышленно выпускаемые активные угли.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Богданович Н.И. Пиролиз технических лигнинов // ИВУЗ: Лесной журнал, 1998. – № 2–3. – С. 125–132.
- 2 Саврасова Ю.А., Белецкая М.Г., Богданович Н.И., Макаревич Н.А. Углеродные адсорбенты на основе лигноцеллюлозных материалов // ИВУЗ: Лесной журнал, 2012. – № 1. – С. 107–112.
- 3 Белецкая М.Г., Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Саврасова Ю.А. Методы термохимической активации в синтезе активных углей из технических лигнинов // ИВУЗ: Лесной журнал, 2011. – № 6. – С. 125–132.

УДК 674.093.6.05:621.867.8(083.74)

С.П. Трофимов, доц., канд. техн. наук,
(БГТУ, г. Минск)

П.И. Дячек, проф., д-р техн. наук
(БНТУ, г. Минск)

НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АСПИРАЦИИ И ПНЕВМОТРАНСПОРТА В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ

Системы аспирации и пневмотранспорта (САП) – важный компонент технического обеспечения деревообрабатывающих производств. Они выполняют функции: удаления измельченных отходов обработки или продукта специального измельчения материалов для последующего использования их в технологических или иных целях (опилки, стружка, щепа, волокна, пыль, мука); обеспечения нормальной работы оборудования, режущего инструмента и надлежащих санитарно-гигиенических условий труда; транспортирования измельченных материалов к местам их переработки, накопления и отгрузки.

К преимуществам САП относятся: автоматизация удаления измельченных отходов от режущих головок и других мест их образования; компактность конструктивных элементов, допускающая размещение в стесненных условиях; возможность перемещения материала по сложной пространственной трассе; простота изготовления, управления и регулирования; высокая производительность; возможность включения в единую систему транспортного обеспечения производства; небольшие затраты на монтаж, ремонт и обслуживание.

К отрицательным характеристикам САП относятся: высокое потребление электроэнергии и теплотери (в отопительный период); повышенная (в некоторых производствах) взрывопожарная опасность и вредное воздействие на окружающую среду (шум и выбросы веществ-загрязнителей в атмосферу). Низкая эффективность аспирационных приемников может явиться причиной ухудшения работы режущих головок и снижения качества обработки материала.

Как правило, САП измельченных материалов требуют индивидуального проектирования с учетом состава, режима работы обслуживаемого оборудования и условий конкретных производств. Без аэродинамического расчета и определения мощности привода вентилятора при подключении станков устанавливают только фильтры-стружкоотсосы, не предусматривающие транспортирование отходов резания за пределы цеха. При выборе этих устройств учитывается только потребная производительность по воздуху и безопасность исполнения.

Задачи обеспечения технологической и энергетической эффективности, взрывопожарной, экологической безопасности производств изна-

начально решаются при проектировании предприятий и технических систем, конструировании, изготовлении, выборе элементов комплектации САП, а также в процессе монтажа, пусконаладки, контроля состояния, регулирования и эксплуатации оборудования.

Указанные характеристики САП и факты аварий на предприятиях отрасли требуют совершенствования основы проектных решений, включая техническое нормирование, которое базируется на результатах практического опыта и результатов НИР.

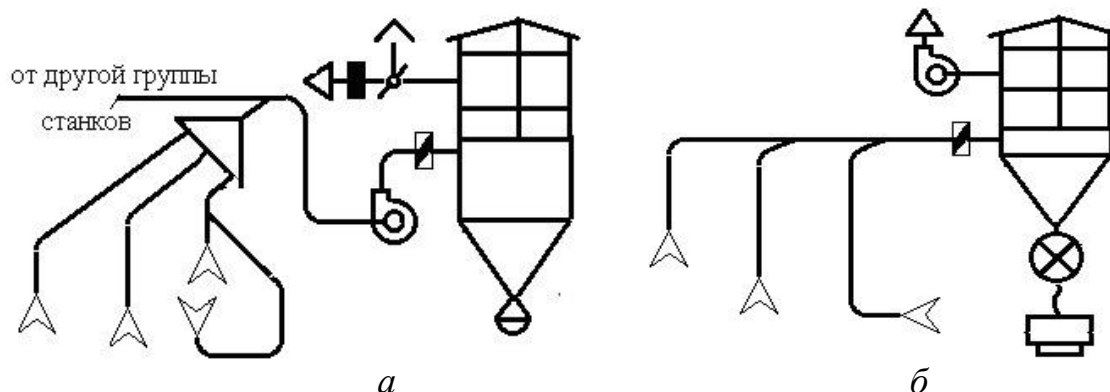
Учитывая актуальность нормирования проектной и эксплуатационной деятельности в рассматриваемой области на совещании в Госстандарте в соответствии с поручением Совета Министров Республики Беларусь от 02.11.2011 г. было принято решение о разработке соответствующего технического кодекса установившейся практики (ТКП) «Системы аспирации и пневмотранспорта в деревообрабатывающем производстве, включая производство древесных топливных гранул (пеллет) и брикетов. Нормы проектирования». В процессе разработки ТКП [1] были выполнены НИР [2] с привлечением работников БГТУ, БНТУ, МЧС, СПбГЛТА (Россия), нескольких предприятий и РУП «Стройтехнорм» Минстройархитектуры Республики Беларусь.

ТКП устанавливает нормы проектирования САП низкого и среднего давления (до 10 кПа) при разработке документации на новое строительство, реконструкцию предприятий или этих систем, а также при экспертизе проектов. Требования ТКП должны учитываться также при комплектной поставке изготовителем САП для определенного состава технологического оборудования.

Действие ТКП не распространяется на пневмотранспортные установки, которые выполняют только транспортные функции и не используются в технологических процессах (например, при разгрузке и загрузке транспортных средств), на системы пневмотранспорта, входящие в технологические линии комплексной поставки (например, производства плит), а также на контейнерные (капсульные) пневмотранспортные установки.

ТКП включает разделы: нормативные ссылки; термины и определения; характеристики производств; свойства измельченной древесины; общие положения проектирования САП; элементы САП; аэродинамический расчет САП; вентиляторные установки; установки для очистки отработавшего воздуха; размещение оборудования; обеспечение функциональной и энергетической эффективности, взрывной, пожарной и экологической безопасности САП.

В ТКП представлены основные рекомендуемые схемы построения САП, рисунок 1 иллюстрирует некоторые из них.



a – рециркуляционная с кустовым объединением аспирационных приемников, очисткой воздуха с помощью фильтра и временным хранением собранных отходов в бункере-накопителе; *б* – прямоточная с линейным объединением аспирационных приемников, очисткой воздуха с помощью фильтра и временным хранением собранных отходов в маломерной емкости

Рисунок 1 – Схемы САП

Приложения содержат: характеристики пожаро- и взрывоопасности древесной пыли; поправочные коэффициенты характеристик пылевых вентиляторов; коэффициенты местного сопротивления подводящих, отводящих каналов вентиляторных установок и относительного снижения КПД пылевых вентиляторов; ссылки на отечественные и зарубежные источники информации.

Методика и порядок проектного расчета САП приведены в технической литературе и кратко изложены в разработанном ТКП.

Одной из актуальных задач совершенствования САП является повышение их энергоэффективности. Потребная мощность электродвигателя привода вентилятора определяется расчетом по формуле

$$N_{fd} = \frac{K_3(1 + \mu_m)Q_p H_p}{60 \cdot 10^3 \cdot \eta_f \eta_{tr}},$$

где $N_{пр}$ – расчетная мощность привода вентилятора, кВт; K_3 – коэффициент запаса мощности на пусковой момент; $(1 + \mu_m)$ – коэффициент, учитывающий повышение мощности привода при прохождении транспортируемого материала через вентилятор; Q_p – суммарный расчетный расход воздуха САП, м³/мин; H_p – суммарные расчетные потери давления в САП, Па; η_f – КПД вентилятора; η_{tr} – КПД клиноременной передачи (при наличии частотного регулирования не учитывается).

В [3] рассмотрен фрагмент решения комплекса задач снижения энергозатрат на привод вентилятора САП на основе оптимизации местоположения коллектора и системы воздухопроводов установки с учетом суммарных потерь давления в цепи воздухопроводов до устройства газоочистки (фильтр, циклон).

Проектирование и эксплуатация САП требуют соответствующей подготовки кадров. Однако оценка компетенций специалистов многих предприятий и даже проектных организаций Беларуси позволяет сделать выводы о дефиците специалистов и необходимости активизации деятельности учебных заведений в решении этого вопроса.

Введение в действие разработанного ТКП с 1 сентября 2014 г. должно способствовать повышению уровня проектирования САП, контроля состояния действующих установок и мероприятий по их модернизации. Информация о вводе ТКП является актуальной в условиях расширяющегося сотрудничества Республики Беларусь с зарубежными странами в условиях действия в них своих национальных и региональных нормативных документов [4] и др. Практическое применение технических норм должно сопровождаться проведением дополнительных исследований, гармонизацией стандартов и надлежащей подготовкой специалистов в области проектирования и эксплуатации САП.

ЛИТЕРАТУРА

1 ТКП 510–2014. Системы пневмотранспорта и аспирации в деревообрабатывающем производстве, включая производство древесных топливных гранул (пеллет) и древесных брикетов. Нормы проектирования. – Минск: концерн «Беллесбумпром», 2014 – 100 с.

2 Определение нормативных параметров систем пневмотранспорта и аспирации, необходимых для разработки ТКП «Системы пневмотранспорта и аспирации в деревообрабатывающем производстве, включая производство древесных топливных гранул (пеллет) и древесных брикетов. Нормы проектирования: отчет о НИР ИФЗ 12-087. Этап 2 «Обобщение результатов работы и определение нормативных параметров систем пневмотранспорта и аспирации, необходимых для разработки ТКП» (заключительный). Гос. рег. №20123509 / Белорус. гос. технол. ун-т; рук. темы С.П. Трофимов. – Минск: БГТУ, 2012. – 98 с.

3 Trofimov, S. Aspiration and pneumatic conveying systems in woodworking production: norm of designing, solutions and engineering personnel / S. Trofimov. – Proceedings of the 19th International Conference. «Mechanika-2014», KTU, Lithuania, 24–25 April 2014. – Kaunas: KTU. – p. 274–276.

4 DIN EN 12779:2004+A1:2009. Sicherheit von Holzbearbeitungsmaschinen – Absauganlagen für Holzstaub und Späne – Sicherheitstechnische Anforderungen und Leistungen;. Beuth-Verlag, Berlin, 2009. – 66 S.

Р.А. Бондарев, аспирант,
(МГУП, г. Могилев)

М.А. Киркор, доц., канд. техн. наук
(МГУП, г. Могилев)

ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БИОТОПЛИВА

Одним из перспективных направлений в разработке энергосберегающих технологий является комбинирование нескольких технологических процессов. Известно, что совместное использование процессов измельчения и классификации позволяет снизить удельные затраты энергии на единицу продукции. Кроме этого, весьма важной характеристикой процесса является конечное значение размера частиц измельченного продукта. Размер целевой фракции является регламентированным технологическим параметром, от которого зависит дальнейшая переработка сырья.

В данной работе описывается исследование совместного использования процесса измельчения и классификации применительно к конкретной технологии получения полуфабрикатов.

При производстве биоэтанола из материалов растительного происхождения, была определена задача, согласно которой для достижения наилучших качественных показателей процесса брожения размер частиц сбраживаемого продукта не должен превышать 50 мкм. Технологией допускается погрешность граничного размера частиц фракции не более 5%.

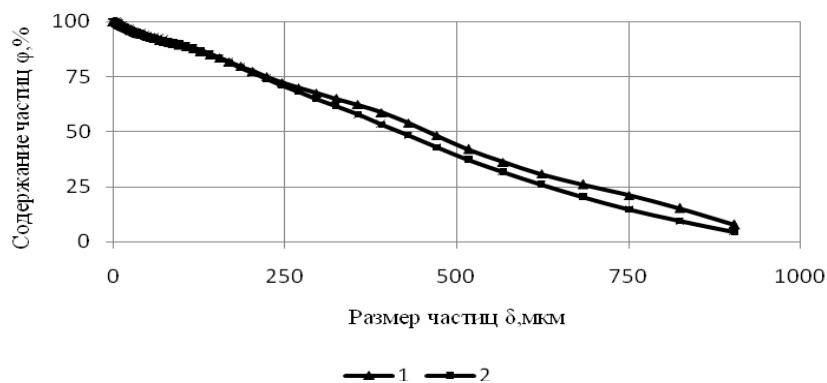
В качестве сырья были приняты гранулированные топливные пилетты. После оценки механических свойств материала был выбран способ измельчения на мельнице ударно-стирающего типа.

Исследования производились на лабораторной установке для измельчения материалов растительного происхождения.

Перед исследованием были проведены серии предварительных экспериментов, которые позволили определить оптимальные параметры работы измельчителя. Далее было произведено измельчение навесок сырья с последующим исследованием гранулометрического состава. Анализ гранулометрического состава производился с помощью лазерного седиментографа.

Исследование производилось для следующих вариантов проведения процесса: однократное измельчение и измельчение с однократной рециркуляцией. Интегральные кривые разделения представлены на рисунке 1.

Анализ полученного гранулометрического состава показал, что целевая фракция присутствует в измельченном продукте. Однако оговариваемое значение максимального размера фракции не выполняется. Следовательно, использование полученного продукта с точки зрения предъявляемых технологических требований невозможно.



1 – однократное измельчение; 2 – измельчение с рециркуляцией

Рисунок 1 – Интегральные кривые распределения частиц

Данный результат обусловлен большим значением необходимой степени измельчения $i = 200 \dots 1000$, что является необоснованным при измельчении на одной установке.

Использование рециркуляции повышает степень измельчения, однако также не позволяет получить готовый продукт требуемого гранулометрического состава. Использование многократной рециркуляции вызывает необоснованные затраты энергии за счет адгезии целевого и переизмельченного продукта и воздействию их на рабочий орган измельчителя.

Для достижения поставленных целей была исследована возможность совместной работы указанного измельчителя с центробежным роторным классификатором [1].

Так как исходный продукт представляет собой гранулы размером от 10 до 50 мм, а мелкая фракция практически отсутствует установка классификатора для предварительного отделения мелкой фракции необоснованно.

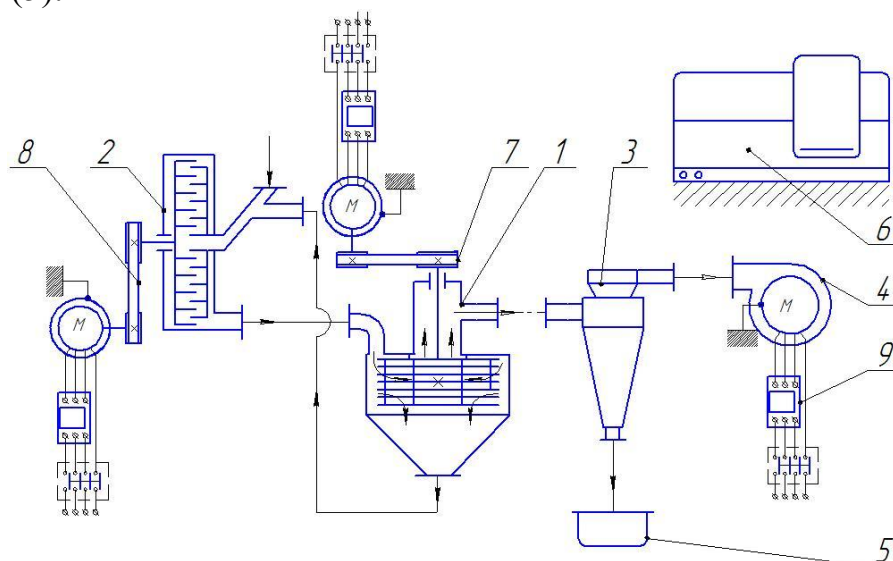
Центробежный роторный классификатор был использован после процесса измельчения. Предполагалось, что тонкий целевой продукт будет отделен, а грубая фракция будет отправлена на повторное измельчение.

На лабораторной установке (рисунок 2) было произведено исследование процессов измельчения и классификации.

Исследование производилось следующим образом: исходный продукт подавался в рабочую камеру измельчителя ударно-

истирающего принципа действия (2). Рабочий орган измельчителя – ротор – приводится в движение с помощью привода (8). Измельченный продукт покидает камеру измельчителя с воздушным потоком, который создает вентилятор (4). Вентилятор приводится в движение с помощью привода (9).

Измельченный продукт вместе с воздушным потоком попадает в рабочую камеру классификатора (1). В межлопаточном пространстве ротора производится процесс разделения порошков по размеру частиц. Целевой продукт стремится к оси вращения ротора, затем покидает камеру классификатора совместно с воздушным потоком. Далее продукт осаждается в циклоне типа СКЦН (3) после чего попадает в бункер (5).



- 1 – центробежный классификатор; 2 – измельчитель; 3 – циклон;
 4 – вентилятор; 5 - бункер; 7 – седиментограф; 8 – привод измельчителя;
 9 – привод вентилятора;

Рисунок 2 – Лабораторная установка

Грубый продукт, отделенный в классификаторе покидает рабочую камеру классификатора под действием силы тяжести, после чего вновь попадает в рабочую камеру измельчителя.

Анализ гранулометрического состава производится на седиментографе(6) типа LS 100 Q BeckmanCoulter. Прибор LS 100 Q позволяет измерять размер частиц в диапазоне от 0,4 до 900 мкм с точностью показаний в данной области до 0,1 мкм.

Полученный тонкодисперсный продукт был исследован на седиментографе. Интегральная кривая разделения частиц представлена на рисунке 3.

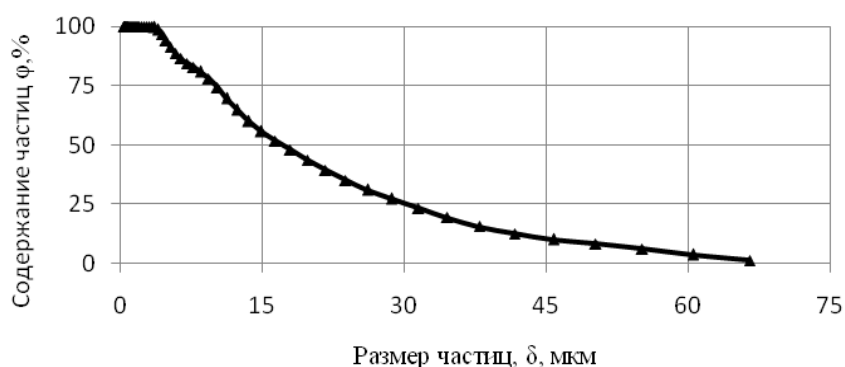


Рисунок 3 – Интегральная кривая распределения частиц

Анализ гранулометрического состава показал, что максимальный размер частиц фракции составляет 63 мкм. Содержание частиц размером больше граничного составляет 4,56%, что удовлетворяет технологические требования.

Таким образом, предложенная технологическая схема может являться одним из вариантов организации производства сырья для получения биоэтанола. Преимуществом предложенной технологической схемы является компактность и малая материалоемкость, так как организация процесса с использованием нескольких стадий измельчения предполагает наличие значительного количества оборудования.

Кроме этого, удаленная мелкая фракция не направляется в рабочую камеру измельчителя, что сказывается на уменьшении потребляемой мощности при проведении процесса, и уменьшении абразивного износа рабочих органов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Бондарев, Р.А. Центробежный роторный классификатор для получения тонкодисперсных порошков / Р.А. Бондарев, М.А. Киркор // Афіційны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 2 (91). – С. 14.

2 Бондарев, Р.А. Исследование процесса разделения полидисперсных порошков / Р.А. Бондарев, М.А. Киркор // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. IX Междунар. науч.- техн. конф. студ. и аспирантов, Могилев, 24–25 апр., 2014г. / Мог. гос. ун-т прод.; редкол.: А.В. Акулич [и др.]. – Могилев, 2014. – в 2-х ч. – Ч. 1. – С. 13 – 16

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА
КАК ФАКТОР ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

В связи с постоянным удорожанием импортируемых в Беларусь энергетических ресурсов одной из актуальных задач обеспечения национальной безопасности является обеспечение энергетической и, как следствие экономической, безопасности государства. Энергетическая безопасность зависит от энергетической независимости, которая определяется многими факторами. Одним из важнейших является уровень обеспеченности страны собственными энергоресурсами. В настоящее время этот показатель для Беларуси равен примерно 18%. Остальные 82% энергоресурсов импортируются, главным образом, из России. Такое соотношение между собственными и импортными энергоресурсами обусловлено не экономическими соображениями, а недостаточностью запасов собственных энергоресурсов [1].

В Республике Беларусь постоянно реализуется комплекс мер направленный на увеличение использования *местных видов топлива* (МВТ), к которым относят ископаемые и возобновляемые источники энергии, добываемые на территории страны. Предпринимаемые действия позволили за 8 лет увеличить долю собственных энергоресурсов в балансе котельно-печного топлива (КПТ) с 16,8% до 26,4%. Однако республика не останавливается на достигнутых результатах. Так, правительством поставлена задача довести долю местных видов топлива в балансе котельно-печного топлива к 2015 году до 30%. Для этого необходимо заместить импортируемые топливно-энергетические ресурсы собственными в объеме 1,2 млн. т у.т.

Необходимо отметить, что реализация политики по увеличению использования местных видов топлива не только повышает энергетическую безопасность страны, способствует импортозамещению, но и создает значительное количество современных, высокопроизводительных рабочих мест, позволяет значительно интенсифицировать экономику регионов, повышая тем самым их конкурентоспособность.

Стратегическим направлением для республики в области энергетики на ближайшую перспективу должно стать увеличение использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Динамика использования ВИЭ в Беларуси представлена на рисунке 1.

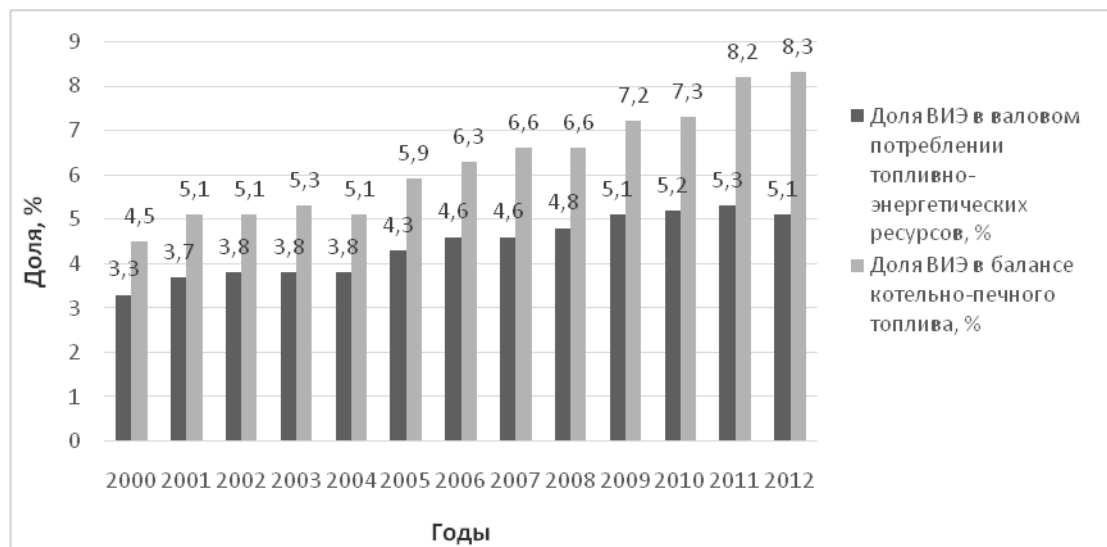


Рисунок 1 – Доли возобновляемых источников энергии в валовом потреблении энергоресурсов и балансе котельно-печного топлива в Республике Беларусь в 2000–2012 гг., % [2]

С 2000 г. по 2012 г. доли возобновляемых источников энергии в валовом потреблении энергоресурсов и балансе котельно-печного топлива в Беларуси увеличились на 54% и 84% соответственно. Однако в абсолютном выражении в 2012 году доля ВИЭ в валовом потреблении топливно-энергетических ресурсов составила 5,1% и в балансе котельно-печного топлива только 8,3%.

Отставание республики от лидеров в области использования ВИЭ объясняется недостаточностью собственных инвестиционных ресурсов, сложностью привлечения иностранных инвестиций и высокими сроками окупаемости капитальных вложений. В силу данных причин в республике в настоящее время в структуре используемых возобновляемых источников энергии доминирует *древесное топливо* (рисунок 2). Годовой энергетический потенциал древесного топлива республики оценивается величиной в 2,5 млн т у.т.

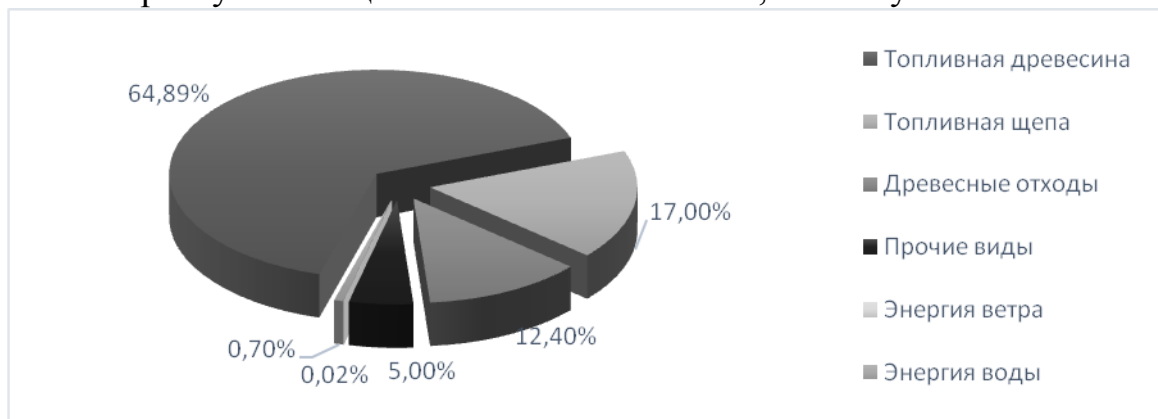


Рисунок 2 - Баланс возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь в 2012 году, % [2]

Как видно из рисунка суммарный удельный вес древесной биомассы в балансе ВИЭ в 2012 году в республике составил 94,3%. В настоящее время данное направление использования ВИЭ является менее капиталоемким и более рентабельным. Кроме того, в Беларуси достаточно высокий уровень локализации производства оборудования для заготовки и сжигания древесного топлива: погрузочно-транспортные машины, автощеповозы, рубильные машины, котлоагрегаты.

В сравнении с развитыми странами наметилось серьезное отставание в области использования энергии ветра, производства биогаза, использования низкопотенциальных вторичных энергоресурсов и геотермальной энергии земли, солнечной энергии. При этом в 2013 году в Беларуси работало 12 мини-ТЭЦ на древесном топливе и торфе суммарной электрической мощностью 23,8 МВт, 10 биогазовых комплексов с общей установленной электрической мощностью 15 МВт (наибольшая в СПК «Рассвет» – 4,8 МВт), 49 гидроэлектростанций с общей установленной мощностью около 33,4 МВт (наибольшая на Гродненской ГЭС – 17 МВт), 18 ветроэнергетических установок общей мощностью 4 МВт (наибольшая – 1,5 МВт в Новогрудском районе).

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует о том, что, несмотря на имеющиеся проблемы, тенденция к увеличению использования местных топливно-энергетических ресурсов и возобновляемых источников энергии носит в республике положительный устойчивый характер, и опирается как на белорусское государственное, частное, так и иностранное финансирование, выделяемое по ряду международных проектов [3]. Тем не менее, для повышения эффективности функционирования энергетического сектора требуется планирование и организация проведения следующих мероприятий.

1. В целях создания более транспарентного и конкурентоспособного рынка местных видов топлива целесообразна реформа ценового субсидирования, что бы цены на заготавливаемые топливно-энергетические ресурсы в полной мере покрывали издержки производителей и обеспечивали уровень рентабельности не ниже 25%.

2. Для получения синергетического эффекта необходимо объединение усилий и координация действий различных ведомств и организаций, занимающихся производством и поставкой энергии на основе использования местных видов топлива и возобновляемых источников энергии. Объединение ресурсов могло бы способствовать повышению эффективности проводимых ими мероприятий, например, за счет обмена опытом в области закупок и управления.

Кроме того, могли бы быть созданы лучшие условия для участия частных компаний в заготовке и поставке местных видов топлива на энергообъекты и в выработке электроэнергии на основе использования возобновляемых источников энергии. Это возможно в случае существенного изменения цен на МВТ и тарифов на электроэнергию.

3. Учитывая исключительно важную роль, которую играют поставки местных видов топлива в обеспечении энергетической безопасности страны, необходимо поддерживать и обновлять детальные геопропространственные данные о текущих и ожидаемых запасах топлива, в том числе и с использованием геоинформационных систем (ГИС).

4. В целях снижения финансовой нагрузки на государство необходимо шире привлекать частные компании в энергетический сектор страны, особенно при реализации проектов в области использования древесного топлива, биогазовых установок, тепловых насосов, энергии ветра, солнца и т.д.

5. Представляется целесообразным развитие и создание производств по изготовлению биогазовых установок, ветроэнергетических установок, тепловых насосов и гелиоводонагревателей в Беларуси.

6. Необходимо дальнейшее развитие подготовки высококвалифицированных специалистов, как разрабатывающих, так и эксплуатирующих новейшее оборудование, и соответствующее материальное обеспечение учебных заведений.

ЛИТЕРАТУРА

1 Гулбрандсен, Т. Х. Энергоэффективность и энергетический менеджмент: учебно-методическое пособие / Т. Х. Гулбрандсен, Л. П. Падалко, В. Л. Червинский. – Минск: БГАТУ, 2010.

2 Энергетический баланс Республики Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2012.

3 Федоренчик, А. С. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов: монография / А.С. Федоренчик, А.В. Ледницкий. Минск: БГТУ, 2010.

Е. В. Барковский, аспирант,
Д. М. Медяк, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ОФСЕТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕЧАТИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТЕЙ ПЕЧАТНОГО КОНТАКТА

Одним из основных свойств определяющих эксплуатационные свойства материала является его износостойкость, которая относится к триботехническим свойствам. Износостойкость является способностью материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения. Износостойкость определяется следующими показателями:

- износ – изменение массы изделий, их размеров или изменение параметров, зависящих от износа поверхностей;
- скорость изнашивания – отношение значения износа к интервалу времени, в течение которого он возник;
- интенсивность изнашивания – отношение значения износа к обусловленному пути, на котором происходит изнашивание, или объему выполненной работы [1].

Для изготовления полиграфической продукции применяются различные способы и виды печати. На сегодняшний день наибольшее распространение получил способ плоской офсетной печати, где для получения оттисков необходим ряд расходных материалов: печатные формы, офсетное резиноканевое полотно, печатная краска, бумага. Из выше перечисленных материалов наиболее дорогим материалом является печатная форма. В процессе печати происходит контактное взаимодействие в виде трения между печатной формой и офсетным полотном, а также между офсетным полотном и бумагой. Поэтому износу подвергается печатная форма и офсетное резиноканевое полотно.

Износ печатной формы определяется ее тиражестойкостью. Если печатаемый тираж превышает тиражестойкость печатной формы, то для изготовления заказа потребуется изготовить второй комплект печатных форм; комплект форм для цветной печати состоит из 2–4 форм в зависимости от красочности. Изготовление печатных форм связано со значительными энергетическими и материальными ресурсами: электроэнергия, вода, химические растворы. Кроме того, установка нового комплекта форм связана с приладкой печатной машины и выводением ее на рабочий режим с соответствующими расходами на получение приладочных оттисков.

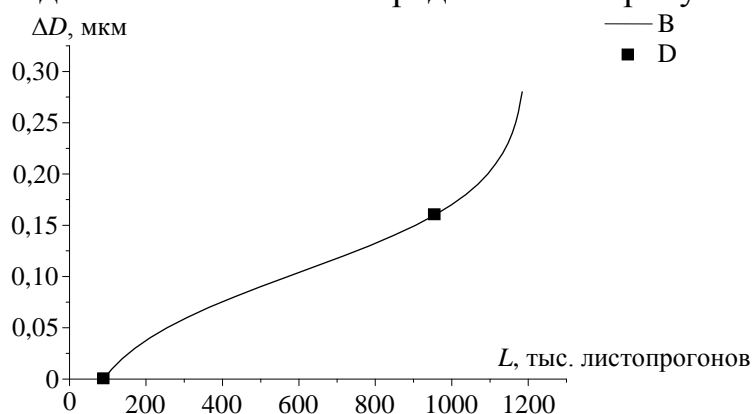
Также износ печатных офсетных полотен приводит к снижению качества получаемых оттисков, т. е. большой процент готовой продукции попадет в брак и будет утилизирован.

Несмотря на общую тенденцию в современной полиграфии к снижению тиражей книжно-журнальной продукции есть такие виды продукции, где тиражи остаются достаточно большими и даже наоборот возрастают, например, упаковочная продукция. Поэтому исследование тиражестойкости печатных форм и износостойкости других расходных материалов является актуальной задачей. Также анализ износостойкости позволяет повысить тиражестойкость материалов путем создания оптимального микрорельефа и структуры печатной поверхности, необходимых печатно-технических свойств.

Для исследования износостойкости поверхности материала необходимо установить взаимосвязь какой-либо характеристики структуры печатной поверхности с количеством отпечатанных оттисков. В качестве такой характеристики может выступать фрактальная размерность поверхности, которая описывает пространственную разветвленность поверхности и косвенно характеризует печатные свойства.

В работе [2] приведена зависимость фрактальной размерности поверхности офсетного полотна от количества листопрогонов. Однако данная зависимость требовала доработки, так как характер поведения офсетного полотна от 100 тыс. до 1 млн. листопрогонов являлся предположительным. Результатом доработки стала функция износа офсетного полотна, которая отражает зависимость изменения фрактальной размерности от количества листопрогонов. Метод построения функций износа основывается на использовании уравнения Ферхюльста-Перла и описан в работе [3].

График данной зависимости представлен на рисунке.



В – теоретическая функция; D – данные эксперимента

Рисунок – Зависимость изменения фрактальной размерности от количества листопрогонов

На данном графике можно выделить три стадии. Диапазон до 200 тыс. листопрогонов соответствуют приработке офсетного полотна, от 200–900 тыс. листопрогонов соответствует нормальной работе офсетного полотна, от 900 тыс. листопрогонов диапазон соответствует разрушению офсетного полотна. Таким образом, функция износа позволяет предположить, что офсетное полотно может выдержать нагрузку в 900 тыс. листопрогонов. Дальнейшее использование может привести к появлению брака продукции, что будет отражаться на использовании дополнительных ресурсов для повторного производства продукции.

Параметрами, характеризующими качество офсетного полотна, следует считать коэффициенты краскопереноса и увлажняющего раствора. Наиболее приемлемым для эксплуатации материала является период установившегося износа (нормальная работа офсетного полотна), при котором происходят благоприятные процессы по переносу краски и увлажняющего раствора и изменения качественных параметров офсетного полотна в этот период минимальны. Эту зону можно расширить за счет сокращения двух других, используя методы и технологии по упрочнению поверхности [4].

Большое разнообразие современного ассортимента печатных красок, моющих и очищающих средств, также оказывает влияние, зачастую мало предсказуемое, на состояние поверхности офсетного полотна.

Исследование процесса изнашивания определяется разработкой комплекса правил и требований к материалами при их изготовлении и эксплуатации с целью повышения их износостойкости, сбережения дефицитных ресурсов, экономии энергии, а также улучшения других свойств и характеристик, влияющих на износостойкость.

ЛИТЕРАТУРА

1 Обеспечение износостойкости изделий. Триботехнические требования и показатели. Общие положения: ГОСТ 30858–2003. – Введ. 01.01.06. – М.: Стандартиформ, 2005. – 15 с.

2 Кулак, М. И. Методы теории фракталов в технологической механике и процессах управления: полиграфические материалы и процессы / М. И. Кулак, С. А. Ничипорович, Д. М. Медяк. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 419 с.

3 Барковский, Е. В. Моделирование износа офсетного полотна / Е. В. Барковский, Д. М. Медяк, М. И. Кулак // Труды БГТУ. – 2013. – № 8: Издательское дело и полиграфия. – С. 7–11.

4 Зоренко, О. В. Механізм спрацювання офсетного гумовотканинного полотна / О. В. Зоренко // Технологія і техніка друкарства. – 2004. – № 1. – С. 46–49.

В.С. Болтовский, проф., д-р техн. наук,
О.В. Остроух, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ ПОЛИСАХАРИДОВ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ БИОМАССЫ

В настоящее время возрастает интерес к использованию постоянно возобновляемой растительной биомассы, что обусловлено прогрессирующим сокращением запасов ископаемых видов органического сырья.

Одним из наиболее перспективных и востребованных на мировом рынке продуктов, получаемых из растительного сырья, является этиловый спирт для использования в качестве топлива для автотранспорта. В последние годы наметилась тенденция его получения из лигноцеллюлозной биомассы (отходов древесины и сельскохозяйственного производства), не конкурирующей с продовольственным сырьем.

Для многих стран не менее актуальной является проблема восполнения дефицита кормового белка, который может быть эффективно получен микробиологической конверсией растительной биомассы.

В то же время одним из наиболее востребованных продуктов гидролитической (химической) переработки растительного сырья в мире является фурфурол, потребности которого, особенно в Европе, превышают производство.

Существенными недостатками применяемых в настоящее время технологических процессов гидролитической и микробиологической переработки растительной биомассы являются невысокая эффективность (образование значительного количества отходов, превышающих выход основной продукции) и высокие энергетические затраты на основные технологические процессы.

Одним из наиболее энергоемких является производство кормовых дрожжей из гидролизатов растительного сырья. Основные по энергопотреблению операции кроме собственно гидролиза сырья – глубинное культивирование дрожжей, концентрирование дрожжевой суспензии (особенно сепарирование и выпаривание) и сушка дрожжей.

Разработка энергосберегающей технологии комплексной химической и микробиологической конверсии полисахаридов лигноцеллюлозной биомассы с получением фурфурола и белоксодержащей кормовой добавки является актуальной задачей.

Перспективным способом решения проблемы, по нашему мнению, является гидролиз гемицеллюлоз пентозансодержащей растительной биомассы с использованием пентоз гидролизата для получения фурфурола и биоконверсия содержащихся в оставшемся целлюлолигнине полисахаридов (в основном целлюлозы) в белок методом твердофазной ферментации.

Получение фурфурола дегидратацией пентоз в гомогенных условиях является наиболее перспективным, т. к. позволяет обеспечить его выход, близкий к теоретически возможному в отличие от применяемого в промышленности парофазного гидролиза гемицеллюлоз растительного сырья, при котором выход фурфурола составляет не более 60% от потенциального [1].

Однако длительная продолжительность конвективного нагрева больших объемов жидкости с использованием технологического пара требует значительных энергозатрат и приводит к потерям фурфурола.

Интенсивный объемный нагрев в массе материала обеспечивает применение для осуществления процесса дегидратации пентоз в гомогенных условиях энергии сверхвысоких частот. Например, показано, что при СВЧ-нагреве модельных растворов ксилозы с содержанием в качестве катализатора 0,5%-ного раствора серной кислоты от 20°C до температуры, необходимой для дегидратации пентоз в фурфурол, достигается в течение 10 с, а при обработке растворов с начальной температурой, соответствующей температуре пентозных гидролизатов после операции инверсии – при продолжительности обработки 4 с [2].

За счет использования гидролизата, имеющего после инверсии температуру около 100°C, исключаются затраты тепла на его предварительный нагрев перед СВЧ-дегидратацией, что снижает энергоемкость и интенсифицирует процесс.

Выход фурфурола при СВЧ-обработке модельных растворов ксилозы составил 73,4–82,4%, а из пентозных гидролизатов, полученных гидролизом гемицеллюлоз древесины березы и древесно-кустарникового растительного сырья – не менее 82,5% от теоретически возможного, что существенно выше, чем при применении для нагрева технологического пара.

Скорость процесса СВЧ-дегидратации пентоз в фурфурол значительно выше (в 420–445 раз), чем при их обработке паром в сопоставимых условиях.

После гидролиза гемицеллюлоз растительной биомассы остается целлюлолигнин. Использование его для получения кормовых дрожжей микробиологической переработкой гидролизатов сопровождается чрезвычайно высокими энергетическими затратами.

В то же время в целлолигнине содержится достаточное количество непрогидролизовавшихся полисахаридов, в основном целлюлозы, реакционная способность которой повышена при термокаталитической обработке в условиях гидролиза гемицеллюлоз. Кроме того, применяемый в промышленности способ удаления из гидролизатора остатка после гидролиза приводит к дополнительному разрушению его структуры.

Сравнение различных способов предварительной обработки лигноцеллюлозной биомассы показало, что целлолигнин, образовавшийся в процессе гидролиза гемицеллюлоз, является наиболее благоприятным субстратом для биоконверсии, не требующим дополнительной обработки. Так при глубинной ферментации целлолигнина древесины березы (в виде твердого субстрата) микромицетом *Trichoderma viride* обеспечивается накопление сырого протеина 15,58% от массы субстрата, а при применении смешанной культуры микромицета *Trichoderma viride*, обеспечивающего деструкцию полисахаридов, и дрожжеподобных грибов *Candida tropicalis*, эффективно усваивающих моносахариды – 18,52%.

Однако применение глубинного способа ферментации (с содержанием нерастворимого субстрата, как правило, не более 5%) требует наличия оборудования большой емкости и существенного увеличения производственных площадей, больших затрат энергии, а также последующего отделения продукта от культуральной жидкости и очистки значительных объемов сточных вод. Кроме того, продуктивность процесса вследствие относительно низкой концентрации нерастворимого субстрата в 2 раза ниже, чем при твердофазном культивировании [3].

Поэтому с точки зрения промышленной реализации наибольший интерес представляет биоконверсия лигноцеллюлозной биомассы методом твердофазной ферментации.

При биоконверсии целлолигнина древесины березы и древесно-кустарникового сырья без дополнительной предварительной обработки в условиях твердофазной ферментации смешанной культурой микромицетов *Aspergillus niger* и *Trichoderma viride* обеспечивается обогащение его сырым протеином до 15,5–15,7% [4].

Определены технологические параметры процессов получения фурфурола дегидратацией пентозных гидролизатов в гомогенных условиях под действием СВЧ-энергии и биоконверсии целлолигнина для его обогащения белком. Разработан аппарат для твердофазной ферментации растительного сырья [5], конструкция которого обеспечивает увеличение производительности и эффективности процесса по

сравнению с известными ферментаторами за счет более полного использования объема и равномерного распределения воздуха в объеме субстрата.

Разработанная технология комплексной гидролитической и микробиологической переработки полисахаридов растительной биомассы по сравнению с существующей обеспечивает:

- исключение энергоемких стадий гидролиза целлолигнина, подготовки гидролизата к биохимической переработке, глубинного культивирования дрожжей, концентрирования дрожжевой суспензии и сушки дрожжей;

- исключение образования основного крупнотоннажного отхода гидролизного производства – технического лигнина;

- осуществление объемного нагрева материалов без применения технологического пара;

- комплексное использование растительной биомассы с получением фурфурола и белоксодержащей кормовой добавки.

ЛИТЕРАТУРА

1 Морозов, Е.Ф. Производство фурфурола / Е.Ф. Морозов. – М. : Лесная пром-сть, 1988. – 200 с.

2 Остроух, О.В. Особенности СВЧ-нагрева пентозных растворов / О.В. Остроух, В.С. Болтовский // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2009. – Т. 4. – № 1. – С. 87–89.

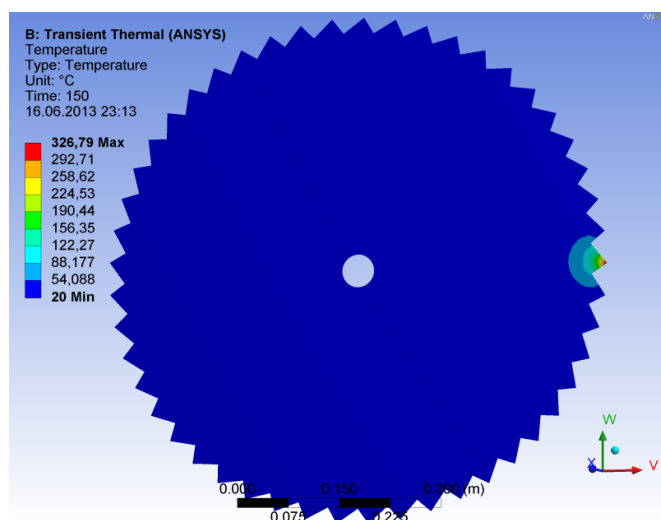
3 Виестур, У.Э. Биотехнология: Биологические агенты, технология, аппаратура / У.Э. Виестур, И.А. Шмите, А.В. Жилевич. – Рига : Зинатне, 1987. – 263 с.

4 Цедрик, Т.П. Биоконверсия целлолигнина мицелиальными грибами / Т.П. Цедрик, В.С. Болтовский, Д.В. Некрасов // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и химическая технология. – 1996. – Вып. IV. – С. 23–27.

5 Аппарат для твердофазной ферментации: пат. 16946 Респ. Беларусь. МПК С 12 М 1/00, С 12 М 1/04 / Павлечко В.Н., Болтовский В.С.; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а20110199; заявл. 17.02.11; опубл. 30.10.12. Бюл № 2. – 2013. – 106 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ДЕРЕВОРЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ANSYS

Исследования, связанные с изучением температур тел, находящихся в подвижном контакте, трудоемки, требуют сложной и точной измерительной аппаратуры, применения специальных тонких методов исследования. Этим объясняется недостаточная для практики информация по температурам зубьев пил. Для изучения процесса резания древесины круглыми пилами и исследование влияния теплофизических факторов на обеспечение работоспособности инструмента производилось моделирование в программе ANSYS. Для зуба инструмента определялись температура на поверхностях контакта лезвия с древесиной в зависимости от ограниченного количества факторов: скорости резания, подачи на зуб, вида резания, радиуса затупления лезвия. На рисунке 1 приведен график изменения температуры по высоте зуба пилы для поперечной распиловки, диаметром пилы 360 мм, толщиной 2,5 мм, вращения 200 рад/с.



**Рисунок 1 – Изменения температуры по высоте зуба пилы
для поперечной распиловки**

Исходя, из анализа распространения температур по полотну круглой дисковой пилы можно сделать вывод, что нагрев обусловлен взаимодействием режущего элемента и обрабатываемого материала, оказывая влияние только на сам зуб режущего венца. При этом значение температуры зубчатого венца не в точке взаимодействия инстру-

мента и материала крайне незначительно. Таким образом, температурное поле носит ярко выраженный локальный характер. На практике, означает, что с учетом охлаждения воздухом основным источником температуры для круглой дисковой пилы будет являться не зубчатый венец, а взаимодействие полотна инструмента со стенками пропила.

Силы трения оказывают существенное влияние из-за больших площадей контакта инструмента с обрабатываемой заготовкой и в совокупности возрастают, влияют на тепловое поле инструмента. Температурное поле с учетом этого вида взаимодействия носит достаточно сложный характер, обусловленный тем, что сила трения пропорциональна скорости движения, а, следовательно, возрастает от центра круглой пилы к зубчатому венцу в соответствии с уравнением (1)

$$F_{тр} = k \cdot r_n \quad (1)$$

где k – коэффициент, который в общем случае изменяется по координате r и времени, r – радиус текущей рассматриваемой точки полотна инструмента в полярной системе координат.

Уравнение (1) описывает изменения силы трения с учетом линейного изменения скорости движения инструмента в зависимости от координат r .

$$l = r \cdot w \quad (2)$$

С другой стороны зубчатый венец обладает уширением по сравнению с основным полотном инструмента. Исходя, из этого можно сделать вывод о том, что тепловое поле в основном полотне круглой пилы будет оказывать существенные влияния только в зоне α приведенная на рисунке 2.

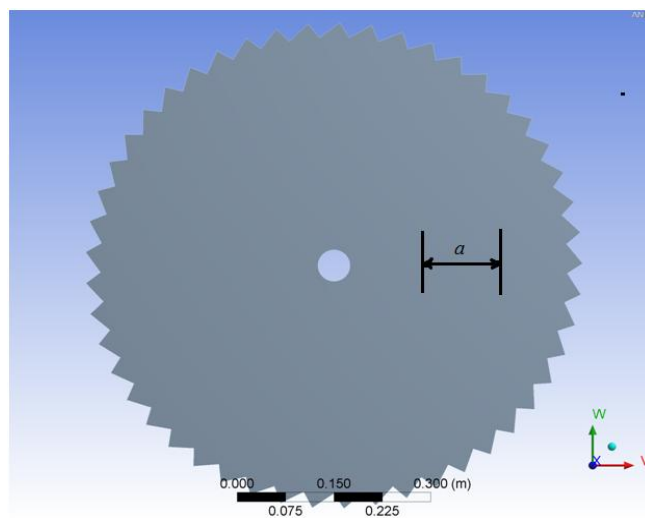


Рисунок 2 – Изменение силы трения

В процессе резания пила нагревается не равномерно. Сильнее она нагревается у зубчатого венца. В программе ANSYS была приложена температура к зубьям круглой пилы заданная формулой (3)

$$A = 500 - 200 \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

где ω – скорость вращения, рад/с; t – время, с; φ – сдвиг фаз, рад.

При моделировании распределения температуры с учетом периодического взаимодействия круглой дисковой пилы с обрабатываемым материалом представлено на рисунке 3.

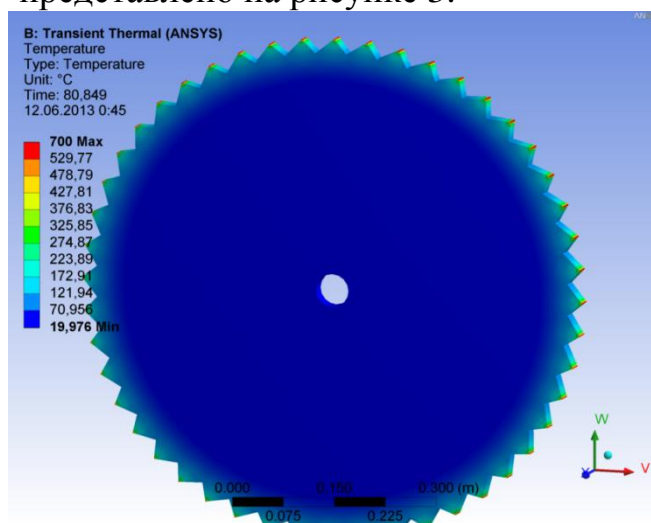


Рисунок 3 – Нагрев круглой пилы при продольной распиловке

Исходя, из которого можно подтвердить ранее сделанный вывод о минимальном влиянии температуры в зоне резания на температурное поле инструмента.

Перепад температуры по радиусу диска вызывает появление сжимающих напряжений на периферии пилы (рисунок 4)

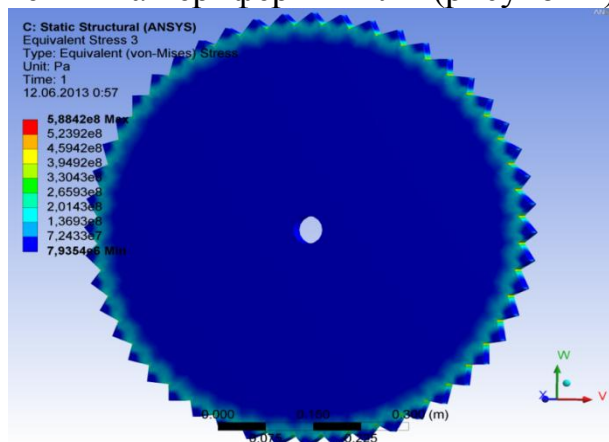


Рисунок 4 – Напряжение в круглой пиле

Диск становится неустойчивым, и даже незначительные поперечные силы резания приводят к потере плоской формы пилы. Пила зарезает («блуждает» в пропиле). Это особенно важно у тонких пил и пил большого диаметра. Правильно прокованные (или провальцованные) круглые пилы могут работать при большей частоте вращения и выдерживают больший перепад температуры периферийной и средней частей диска. В любом случае частота вращения вала круглопильного станка не должна превышать критическую. При продольной распиловке древесины и распиловке древесных материалов перепад температуры тем больше, чем выше частота вращения, толщина распиливаемого материала, скорость подачи и т. д.

Следует отметить, что кроме создания внутренних напряжений проковкой, вальцеванием и выравнивания температуры диска устойчивость круглых пил может быть повышена также за счет «противонапряжения». При «противонапряжении» величина напряжений противодействует деформации инструмента, и не будет изменяться при смене режимов резания. Наличие уширяющих элементов выполненных из материала с более высоких температурных коэффициентов линейного расширения приводит к динамическому изменению величин противонапряжений, обеспечивает более корректную стабилизацию полотна в пропиле.

ЛИТЕРАТУРА

1 Новые исследования резания древесины / Ивановский Е. Г., Василевская П. В., Лауриер Э. М. «Лесная промышленность». – 1972. – 128 с.

2 Моделирование поведения режущего инструмента в пакете Ansys / О. Н. Суша, Д. С. Карпович, //Материалы VIII- ой республиканской научной конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы математики и вычислительной техники», Брест, 21–23 ноября 2013 г.: – Брест: БГТУ, 2013. – С. 36 – 39.

3 Графический интерфейс комплекса ANSYS / Басов .А., КМ.:ДМК Прес, 2006. – 248 с.

И.А. Хмызов, доц., канд. техн. наук,
 А.В. Молчан, соискатель,
 Н.А. Сычева, аспирант,
 Т.В. Соловьева, проф., д-р техн. наук
 (БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ В ТЕХНОЛОГИИ ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ

В настоящее время актуальным направлением использования древесной биомассы является ее вовлечение в топливно-энергетический баланс Республики Беларусь в качестве возобновляемого топливного энергоресурса. Все больше внимания уделяется древесному биотопливу. Это связано с быстрым развитием рынков побочных продуктов деревообрабатывающей и лесозаготовительной промышленности, что стимулирует развитие такой технологии, как производство топливных пеллет. Анализ литературных данных показал, что развитие производства древесных пеллет является наиболее экономически эффективным способом утилизации отходов древесной биомассы.

Отходами древесной биомассы считаются ресурсы, которые не используются для выработки основной продукции в применяемом технологическом процессе. С этой точки зрения отходами в лесозаготовительной промышленности считаются: опилки, листья, пни, ветви, сучья, вершины, кора и корни. Отходами лесопильных заводов являются горбыли, рейки, опилки и кора [1]. Относительный массовый объем основных частей дерева различных пород древесины представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Относительный массовый объем частей дерева, % [2]

Порода	Часть дерева		
	Ствол	Кора	Ветви
Лиственница	77–82	22–25	6–8
Сосна	65–77	10–26	8–10
Ясень	55–70	15–25	15–20
Береза	78–90	13–15	5–10
Бук	55–70	7–11	10–20
Клен	65–75	15–20	10–15

Из таблицы 1 видно, что в среднем относительный массовый объем коры и ветвей составляет до 30% от всего объема дерева. По данным Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь размер лесосечного фонда таких ресурсов составляет порядка 10 млн. м³.

В лабораторных условиях кафедры химической переработки древесины БГТУ были получены образцы пеллет из отходов древесной биомассы березы [*Betula verrucosa Ehrh*], ольхи [*Aihus*

glutinosa(L) Gaertn] и сосны [*Pinus silvestris L.*]. Основными потребительскими свойствами пеллет являются зольность и содержание древесной пыли при истирании пеллет (механическая прочность), значения которых не должны превышать в соответствии с требованиями СТБ 20270,7% и 0,8% соответственно.

Предварительно проведенные исследования показали, что пеллеты, полученные из древесной биомассы в виде коры и ветвей, имеют повышенную зольность – 2,0–3,5% и недостаточно высокую механическую прочность по показателю содержания древесной пыли при истирании пеллет – 5,0–6,5%, что соответствует группе 3 по СТБ 2027.

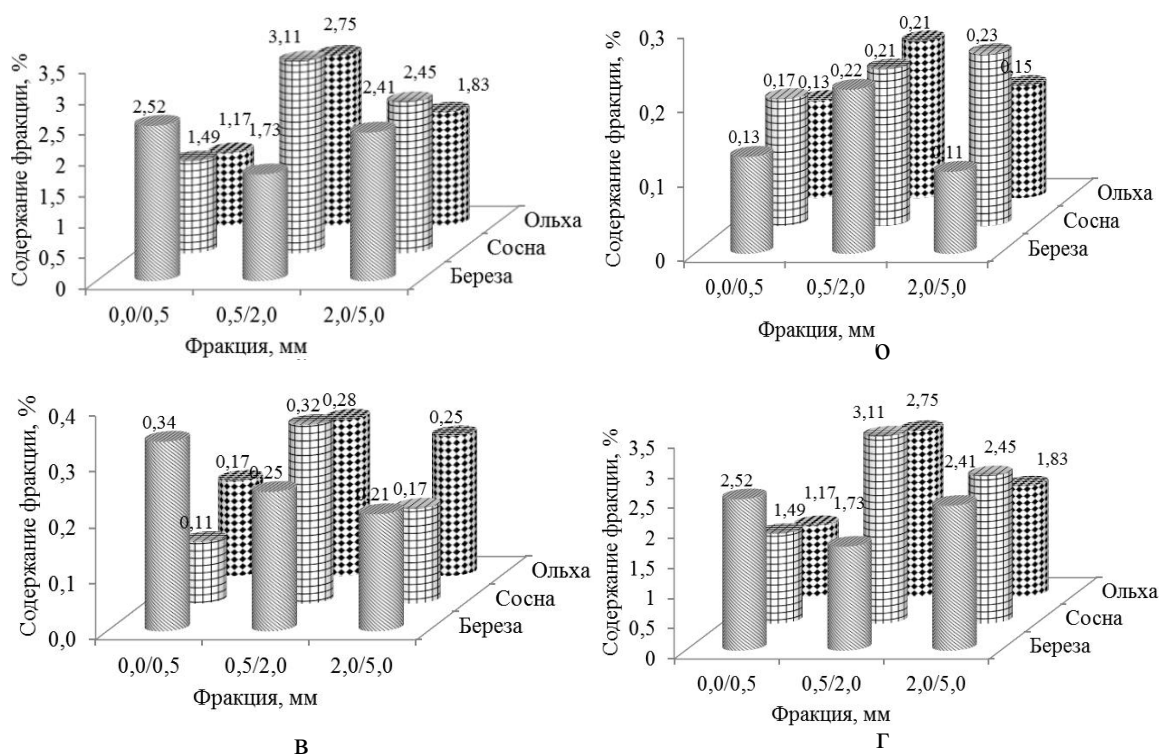
Для получения пеллет высшего качества, соответствующего требованиям отечественного стандарта (группа 1), необходимо учитывать специфические особенности каждого вида древесной биомассы – структуры их анатомических элементов, химического состава, размеров и формы частиц.

Кора и ветви по химическому составу отличается от стволовой древесины. В коре количество целлюлозы колеблется от 18 до 20%, пентозанов – от 8,3 до 17,5%, что значительно меньше, чем в соответствующей древесине. Причем по содержанию пентозанов кора хвойных и лиственных пород отличается не так существенно, как их древесина. При этом кора содержит значительно большее количество лигнина и золы. Содержание золы в коре в среднем в 10 раз выше, чем в соответствующей древесине, причем кора лиственных пород является более зольной, чем кора хвойных пород. Древесина ветвей содержит значительно меньше целлюлозы (43,9–48,2%) по сравнению с древесиной ствола (52,0–59,3%). Содержание пентозанов, лигнина, веществ растворимых в горячей воде в древесине ветвей больше [3].

Для решения проблемы снижения зольности и содержания древесной пыли при истирании пеллет проводили комбинированную сортировку исходного древесного сырья, включающую выделение кондиционной фракции, свободной от мелкодисперсных частиц коры и ветвей, которые, как показали предварительные исследования, являются высокозольными.

Образцы пеллет, изготовленные из опилок, коры и ветвей в соотношении 50, 30 и 20% соответственно с размерами частиц от 0,5 до 5 мм, исследовали на устойчивость к истиранию при вибрации с помощью специальной просеивающей машины (HAVER EML 200 digital plus), которая представляет собой комплект сит, закрепленных на вибрационном корпусе. На верхнее сито загружали навеску пеллет и подвергали их вибрации с амплитудой 3 мм продолжительностью 7 минут. По истечении времени воздействия вибрации взвешивали оставшиеся части пеллет на каждом из сит и определяли долю разрушившихся образцов по фракциям. Получен-

ные данные для образцов из фракций 0,0/0,5, 0,5/1,0, 1,0/2,0 и 2,0/5,0 биомассы сосны, березы и ольхи представлены на рисунке 1.



а – фракция 0,0/0,5; б – фракция 0,5/1,0; в – фракция 1,0/2,0;
г – фракция 2,0/5,0

Рисунок 1 – Влияние фракционного состава на устойчивость пеллет к истиранию

Установлено, что наилучшей устойчивостью к истиранию при вибрации обладают пеллеты, полученные из древесных частиц 0,5/1,0 и 1,0/2,0 мм для всех исследуемых пород древесной биомассы, т.к. в этих случаях наблюдалось образование наименьшего количества древесной пыли от 0,5 до 0,8%. При этом, как показали проведенные исследования, зольность пеллет из этих фракций составляет 0,5–0,7% и соответствует требованиям СТБ 2027 для 1 группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вавилов, А.В. Пеллеты в Беларуси: производство и получение энергии: монография / А. В. Вавилов. – Минск: Стринко, 2012. – 147 с.
2. Уголев, Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение: Учебник для сред. проф. образования / Б.Н. Уголев. – 2-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 272 с.
3. Кононов, Г.Н. Химия древесины и ее основных компонентов: учебное пособие для студентов / Г.Н. Кононов. – 2-е изд. – М.: МГУЛ, 2002. – 259 с.

А.А. Пенкин, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

А.О. Новиков

(УП «Бумажная фабрика Гознака», г. Борисов)

Т.В. Соловьева, проф., д-р техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ БУМАГИ, СОДЕРЖАЩЕЙ В КОМПОЗИЦИИ ХЛОПКОВУЮ ЦЕЛЛЮЛОЗУ

Технология специальных печатных видов бумаги, в частности документной бумаги, традиционно основана на использовании в качестве волокнистого полуфабриката хлопковой целлюлозы в том или ином виде (в виде тряпья или товарной целлюлозы), а в качестве наполнителя – диоксида титана. Первый компонент благодаря большей долговечности волокон хлопковой целлюлозы в сравнении с волокнами целлюлозы из древесины хвойных и лиственных пород придает специальной бумаге повышенную долговечность, а второй компонент, отличающийся высоким коэффициентом светорассеяния, белизны и дисперсности частиц – улучшенные оптические и печатные свойства бумаги [1–3].

В настоящее время хлопковая целлюлоза и диоксид титана являются импортными дорогостоящими веществами для производства специальной бумаги, при этом стоимость диоксида титана сравнима со стоимостью хлопковой целлюлозы и превышает стоимость белевых древесных видов целлюлозы в 4–5 раз. В связи с этим разработка ресурсосберегающих направлений в технологии производства специальных видов бумаги является актуальной, а эффект ресурсосбережения может быть достигнут за счет замены дорогостоящего наполнителя на более доступный и дешевый. Одними из наиболее подходящих для этой цели и эффективных по соотношению стоимость/технический результат являются природные карбонатные наполнители. К ним относятся коммерческие продукты, получаемые размолотом и фракционированием трех горных пород: мела, известняка, мрамора [4]. Белизна природных карбонатных наполнителей, полученных из мела и известняка невелика и обычно находится в пределах 80–88%. Мрамор представляет собой перекристаллизовавшийся в результате геологических трансформаций и термических метаморфоз мел или известняк. Благодаря этому карбонатный наполнитель, получаемый из мрамора, – мраморный кальцит, обладает низким содержанием посторонних примесей и высокой белизной (до 97%). Необхо-

димо также отметить, что мраморный кальцит в несколько раз дешевле целлюлозы из древесины хвойных и лиственных пород и на порядок дешевле хлопковой целлюлозы и диоксида титана. Все это делает мраморный кальцит перспективным наполнителем для специальных печатных видов бумаги.

В таблице 1 приведены значения ζ -потенциала мраморного кальцита марки «Normcal-20», диоксида титана и различных целлюлозных волокон, входящих в композицию специальной бумаги, измеренные в дистиллированной воде.

Таблица 1 – ζ -потенциал мраморного кальцита, диоксида титана и волокнистых полуфабрикатов, используемых в композиции специальной бумаги

Волокнистый полуфабрикат	ζ -потенциал, мВ
Мраморный кальцит	+4,8
Диоксид титана	-12,3
Целлюлоза из хлопкового линта	-25,1
Целлюлоза сульфатная хвойная беленая	-5,7

Как видно из таблицы 1, частицы диоксида титана и волокна целлюлозы обладают отрицательным значением ζ -потенциала, а частицы мраморного кальцита – напротив имеют невысокий положительный заряд (+4,8 мВ). Наблюдаемое различие в электрокинетических свойствах суспензий мраморного кальцита и диоксида титана объясняется их разным химическим составом и кристаллическим строением [5]. Положительное значение ζ -потенциала частиц мраморного кальцита должно благоприятно отразиться на повышении степени их удержания в структуре бумаги за счет более интенсивного электростатического взаимодействия с отрицательно заряженным целлюлозными волокнами. Это в свою очередь будет способствовать экономии наполнителя, снижению удельных норм расхода свежей воды и электроэнергии в результате увеличения степени замкнутости системы циркуляции оборотной воды, а также снижению затрат на очистку стоков и улучшению экологических аспектов производства [3].

В таблице 2 представлено влияние композиционного состава бумаги на ее физико-механические свойства и степень удержания наполнителя. При этом содержание хлопковой целлюлозы в композиционном составе специальной бумаги варьировалось от 10 до 50% (остальное – сульфатная целлюлоза), расход диоксида титана – от 5 до 15%, расход мраморного кальцита – от 5 до 25%.

**Таблица 2 –Влияние композиционного состава на свойства бумаги
и степень удержания наполнителя**

Расход компонентов, %		Показатели бумаги				
Хлопковая целлюлоза	Наполнитель	Разрывная длина, км	Щелочной резерв, мл/г	Непрозрачность, %	Белизна, %	Степень удержания наполнителя, %
Мраморный кальцит						
50	5	5,8	0,71	84,6	74,5	43,3
50	15	5,1	2,20	89,3	77,4	72,2
50	25	4,8	3,19	90,9	79,9	69,6
30	5	7,3	0,81	84,5	70,7	71,9
30	15	7,6	2,24	89,9	74,7	75,4
30	25	6,1	3,24	92,1	75,5	75,0
10	5	8,7	0,78	85,4	70,0	66,7
10	15	6,9	2,33	90,2	71,0	78,5
10	25	7,7	2,75	91,4	78,6	58,4
Диоксид титана						
50	5	6,2	0,06	90,2	77,9	69,7
50	10	5,9	0,01	88,8	79,0	29,4
50	15	5,5	0,02	93,4	81,2	63,0
30	5	7,0	0,04	86,0	75,8	10,7
30	10	6,6	0,03	89,4	81,5	37,1
30	15	6,2	0,05	91,1	80,1	30,3
10	5	8,6	0,03	89,6	75,6	78,4
10	10	7,5	0,04	90,4	81,5	74,6
10	15	6,6	0,05	93,6	82,0	59,7

Математическая обработка данных, представленных в таблице 2, была основана на поиске оптимального содержания компонентов с помощью методики расчета обобщенного критерия оптимизации. Статистическая обработка и решение оптимизационной задачи осуществлялись с помощью встроенных функций электронных таблиц Microsoft Excel.

Найденные оптимальные значения содержания хлопковой целлюлозы в композиции специальной бумаги и расхода различных видов наполнителя составили:

– расход мраморного кальцита – 21,96% при содержании хлопковой целлюлозы в композиции бумаги 21,25%. При данных пара-

метрах достигаются следующие значения показателей качества бумаги: разрывная длина – 7,07 км, щелочной резерв – 2,88 мл/с, непрозрачность – 91,6%, белизна – 75,4%, степень удержания наполнителя в бумаге – 75,5%.

– расход диоксида титана – 15,00% при содержании хлопковой целлюлозы 10,00%. При данных параметрах достигаются следующие значения показателей качества бумаги: разрывная длина – 6,63 км, щелочной резерв – 0,05 мл/с, непрозрачность – 93,8%, белизна – 82,2%, степень удержания наполнителя в бумаге – 68,6%.

Из полученных данных видно, что применение мраморного кальцита взамен дорогостоящего диоксида титана в технологии специальной бумаги является целесообразным, так как оно позволяет увеличить долю относительно дешевого наполнителя в композиции бумаги до 21,5%, что будет способствовать получению существенного экономического эффекта, обусловленного экономией дорогостоящих волокнистых полуфабрикатов. При этом бумага с использованием мраморного кальцита обладает большой прочностью – 7,07 км, щелочным резервом – 2,88 мл/с, высокой непрозрачностью и белизной. Кроме того, кальцит хорошо удерживается в структуре бумаги. Это позволяет рекомендовать его использование в качестве наполнителя при изготовлении специальных видов бумаги с повышенной долговечностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Structural investigations of various cotton fibers and cotton celluloses / Ioelovich M. [et al.] // *BioResources*. – 2008. – № 3(1). – P. 170–177.
2. Ander P. Fine structure of papermaking fibers / P. Ander. – Brussels: COST Office. – 2011. – 281 p.
3. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. / редкол.: П. Осипов [и др.]. – Санкт-Петербург: Политехника, 2002–2006. – Т. 2: Производство бумаги и картона. Ч. 1: Технология производства и обработки бумаги и картона / В. Комаров [и др.]. – 2005. – 423 с.
4. Structure characterization of ground calcium carbonate flocs by fractal analysis and their effects on handsheet properties / Wanhee I. [et al.] // *TAPPI Journal*. – 2013. – Vol. 12, № 3. – P. 17–23.
5. Interaction of calcium carbonate fillers with pulp fibres: effect of surface charge and cationic polyelectrolytes / A. Vanerek [et al.] // *Journal of Pulp and Paper Science*. – 2000. – Vol. 26, № 9. – P. 317–322.

О.П. Старченко, ст. преп., канд. техн. наук,
И.В. Марченко, ст. преп., магистр техн. наук
(БГТУ, Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КНИЖНО-ЖУРНАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ СПОСОБОМ КБС

Современный этап развития полиграфической отрасли основывается на совершенствовании как технологии и техники, так и расходных материалов и сырья. Ведется активная работа по повышению эффективности полиграфического производства, учитывающая последние достижения науки и техники. В частности, использование ресурсо- и энергосберегающих технологий при изготовлении книжно-журнальной продукции была и остается актуальной задачей, способствующей выпуску конкурентоспособной продукции высокого качества с минимальными затратами.

Решение данной задачи в типографиях Республики Беларусь возможно путем использования полиуретанового клея (PUR-клея) для способа клеевого бесшвейного скрепления (КБС) при изготовлении книжно-журнальной продукции. Обращение к данной технологии обусловлено ее высокими технико-экономическими показателями, повышенными характеристиками ресурсосбережения и экологическими преимуществами по сравнению с использованием термоклеев.

В процессе хозяйственной деятельности предприятия вопрос ресурсосбережения очень актуален. Финансовая политика в области ресурсов воздействует на долговременное и определяет текущее состояние предприятия. Она диктует тенденции экономического развития, перспективный уровень научно-технического прогресса (НТП), состояние производственных мощностей предприятия. НТП – это непрерывный процесс открытия новых знаний и применения их в общественном производстве, позволяющий по-новому соединять и комбинировать имеющиеся ресурсы в интересах увеличения выпуска высококачественных конечных продуктов при наименьших затратах [1].

Ресурсосбережение представляет собой процесс рационализации использования материально-технических, трудовых, финансовых, природных и других ресурсов на базе интенсификации производства с целью получения продукции высокого качества и минимумом затрат. Результатом процесса является увеличение выпуска продукции при неизменном или меньшем расходе сырья, снижение себестоимости, более полное использование производственных мощностей.

Экономия энергии также ведет к снижению себестоимости продукции, но существенной экономии можно добиться лишь внедрением

на предприятиях мер, некоторые из которых будут связаны с изменением технологического процесса. Современное промышленное оборудование создано в условиях жесткой конкуренции производителей этого оборудования. Наиболее востребовано будет то оборудование, которое обеспечит низкую конечную себестоимость продукта [1].

Мировая практика применения технологии КБС показывает, что этот способ продолжает динамично развиваться. Проводятся многочисленные исследования, результатом которых является внедрение новых клеев и технологий склеивания, разработка и совершенствование оборудования. Это объясняется неоспоримыми технико-экономическими преимуществами, которыми обладает этот способ.

Проведенные исследовательские работы и анализ публикаций как у нас в стране, так и за рубежом позволили выявить основные факторы, влияющие на прочность КБС. Такими факторами являются свойства используемых клеев и технологические режимы их применения, правильный выбор бумаги, качество подготовки поверхности корешка блока перед нанесением клея.

Для белорусской полиграфии технология КБС с использованием PUR-клея является новой и недостаточно изученной. Необходимо отметить, что современный PUR-клей четвертого поколения характеризуется повышенной начальной прочностью клеевой пленки, стабильной рабочей вязкостью и относительно короткими сроками высыхания, что делает его хорошей альтернативой твердому переплету.

Уникальность технологии КБС с использованием PUR-клея объясняется его физико-химическими свойствами [2]:

- хорошая адгезия к бумаге, картону, полимерам, краске и лакам. В состав клея входят полиуретановые форполимеры с реактивными группами. Они имеют полярную природу и поэтому хорошо смачивают контактную поверхность и обеспечивают стабильную адгезию с большим спектром материалов: офсетной и мелованной бумагой, ламинатами, калькой, металлизированной бумагой и картоном, УФ-лакированными поверхностями, а также пластиком. Данное свойство этого клея позволяет обойти технологические ограничения твердого переплета и создавать сложные по своей конструкции изделия;

- высокая прочность клеевой пленки. Прочность достигается благодаря высокой когезии отвержденного полиуретана, что обеспечивает усилие отрыва листа на 40–60% выше, чем у обычного термоклея. Толщина блока может варьироваться от 3 до 70 мм. Сила первоначального схватывания полиуретана на порядок выше, чем у термоклея, а время окончательной полимеризации составляет от 12 до 24 ч. Изделия, скрепленные PUR-клеем, не рассыпаются;

- высокая химическая и температурная стойкость. Характерной особенностью PUR-клея является повышенная стойкость к органиче-

ским растворителям, маслам, а также к резким колебаниям температуры и старению – клеевая пленка не теряет своих упругоэластичных свойств при нагреве до 120°C и при охлаждении до минус 40°C;

– высокие упругоэластичные свойства. PUR-клей создает тонкий слой, степень растяжения которого составляет 650%. Этот же показатель у термоклей составляет всего 350%. Благодаря эластичности книжно-журнальное изделие раскрывается практически на 180°, как прошитая нитками книга, что невозможно при использовании термоклей.

Технологические свойства PUR-клея удачно дополняются показателями экономичности его использования. Из-за эластичности PUR-клей расходуется меньше, чем термоклей, т. к. толщина наносимого слоя составляет порядка 0,1–0,3 мм. Такая толщина позволяет минимизировать расход клея, который в среднем в два раза ниже расхода обычного термоклей. Более высокая стоимость PUR-клеев компенсируется их меньшим расходом, что позволяет снизить затраты и уменьшить цены на готовую продукцию. PUR-клей требует менее высокой температуры для расплавления – не более 140°C, что экономит электроэнергию [2].

Преимуществом является экологичность PUR-технологии, что имеет большое значение при производстве детской литературы, школьных учебников. Остатки PUR-клея не опасны для окружающей среды и утилизируются как обычные промышленные отходы. При регенерации макулатуры, благодаря высокой твердости пленки клея, он может быть механически отделен от волокнистых компонентов бумаги.

Необходимо отметить конструктивные особенности и преимущества машин для нанесения PUR-клея. Устройство разогрева находится непосредственно в самой машине, что снижает расход клея и сохраняет его вязкость и стабильность. Данное устройство, а также устройство для нанесения клея герметично закрыты, что разрешает отказаться от необходимости промывки клеевой системы после его использования. Практически вся клеевая система не требует очистки: оператор выключает машину и запускает ее на следующий день за несколько минут.

Герметичность устройства разогрева клея и точность его нанесения снижают образование вредных испарений, сохраняя комфортные условия на рабочем месте. Клей подается при помощи регулятора сжатого воздуха, благодаря чему он может наноситься очень тонким слоем. Кроме того, на машинах осуществляется регулировка как начала, так и окончания точного нанесения клея на корешок блока.

Наконец, клеевая система требует минимального обслуживания. Оператор должен просто накрыть экструзионные и клеевые головки для предотвращения проникновения воздуха. Нагрев отключается на панели управления с сенсорным монитором или при выключении самой машины. Это все, что необходимо для выключения системы, операция занимает менее 5 минут. Таким образом, происходит экономия

не только самого клея, но и времени на подготовку машины к работе и после ее окончания, а также экономия электроэнергии, так как PUR-клеи не требуют длительного предварительного разогрева [2].

Средняя цена PUR-клея почти в два раза выше цены термоклея. Но так как его расход в среднем в 2–3 раза меньше, себестоимость изданий, скрепленных полиуретановым клеем, в зависимости от объема производства значительно сокращается.

Так, стоимость PUR-клея (по данным белорусских поставщиков) составляет 128 000 руб. за 1 кг. Потребление PUR-клея на 1см² – 0,055 г (7,04 руб.) (по данным отдела послепечатного оборудования ГК «Терра Принт», Россия) [3].

По итогам ранее проведенных исследований при использовании PUR-клея годовой расход клея сокращается в 4,5 раза, а в стоимостном эквиваленте – в 2,3 раза. При использовании PUR-клея, произведенного в Украине, стоимость которого на 30% ниже, чем на рынке Беларуси, затраты еще больше сократятся [3].

Основополагающим принципом работы современного полиграфического предприятия является ресурсо- и энергосбережение, что значительно удешевляет процесс производства и увеличивает рентабельность работы предприятия. В белорусских типографиях начинают применять технологию клеевого бесшвейного склепления с использованием PUR-клея для книжно-журнальной продукции, а также применяется ряд мероприятий по ресурсо- и энергосбережению – одни из приоритетных направлений экономической политики предприятия, ориентированного на динамичное развитие, как в плане снижения издержек на производство основной продукции, так и в соответствии с общей направленностью снижения нагрузок на вырабатывающие мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1 Ресурсосберегающие технологии и ресурсы. http://www.0zd.ru/fizika_i_energetika/resursosberegayushhie_tehnologii_i.html. Дата доступа: 02.10.2014.

2 Либау, Д. Промышленное брошюровочно-переплетное производство / Д. Либау, И. Хайнце, О. Херцау. – М.: МГУП, 2007. – Ч. 1. – 422 с.

3 Старченко О. П., Марченко И. В. Оценка эффективности использования PUR-клея при бесшвейном способе скрепления изданий // Труды БГТУ. – 2013. – № 8: Издат. дело и полиграфия. – С. 59–62.

Н. В. Пучкова, мл. науч. сотр.

(ИХНМ НАН Беларуси),

М. П. Бей, науч. сотр.

(ИХНМ НАН Беларуси),

А. П. Ювченко, ст. науч. сотр., канд. хим. наук

(ИХНМ НАН Беларуси)

Н. А. Белясова, доц., канд. биол. наук,

(БГТУ)

АМИНОВЫЕ СОЛИ ТЕРПЕНОИДНЫХ КИСЛОТ В КАЧЕСТВЕ БИОЦИДНЫХ ДОБАВОК К ВОДОРАСТВОРИМЫМ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИМ ЖИДКОСТЯМ

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) являются сложными смесями химических соединений и используются в промышленности для охлаждения и смазывания различных видов механообработки, таких как токарная обработка, шлифование, фрезерование и обработка резанием. Благодаря их способности увеличивать ресурс стойкости инструмента, повышая качество обработки изделия и предотвращая коррозию, СОЖ являются крайне необходимыми элементами в производственных процессах.

СОЖ высоко восприимчивы к физическому, химическому и микробиологическому загрязнению. У биоповреждения СОЖ существует несколько негативных последствий: ухудшение стабильности эмульсии, сопровождаемое изменением вязкости жидкости, увеличение скорости коррозии, ведущее к потерям в смазочно-охлаждающих системах, снижению стойкости инструмента. [1].

Борьба с бактериями, грибами, плесенями и другими микроорганизмами, размножающимися в материалах, изделиях и продукции промышленного назначения, представляет собой серьезную научно-техническую проблему. Она усложняется в связи со способностью микроорганизмов к адаптации. По этой причине требуется постоянный поиск новых, более эффективных форм биоцидов.

Представляет значительный научный и практический интерес разработка биоцидных присадок различного функционального назначения на основе отечественного лесохимического сырья Республики Беларусь – сосновой живицы и продуктов ее переработки: канифоли и скипидара. Получение биоцидных добавок на основе вторичных терпеноидных продуктов делает эти биоциды не только более доступными, но и позволяет решить вопрос экологической нагрузки, возникающей при применении дезинфектантов, бактерицидов, фунгицидов [2, 3]. Одним из путей получения таких продуктов является синтез

биологически активных производных доступных терпеноидных кислот (малеопимаровой, цитраконопимаровой) с комплексом ценных свойств, в том числе для практического использования в качестве биоцидных присадок, предотвращающих биоповреждение различных материалов.

Производные 8-оксихинолина являются известными биоцидными веществами, применяемыми в качестве средств защиты растений, антисептиков древесины и др., однако индивидуальный 8-оксихинолин представляет собой относительно токсичное соединение и более предпочтительным является его применение в форме комплексов с металлами или аминовых солей [4]. С целью разработки возможных перспективных биоцидных соединений для защиты от биоповреждений синтезированы соли ряда полученных нами терпеноидных продуктов, содержащих карбоксильную группу, и 8-гидрокси- и 8-аминохинолинов и проведены испытания их биоцидной активности. Синтез солей проводили взаимодействием терпеноидных продуктов в среде хлороформа при 18–20°C в течение 60 мин с последующим удалением растворителя. В результате был получен ряд аминовых солей:

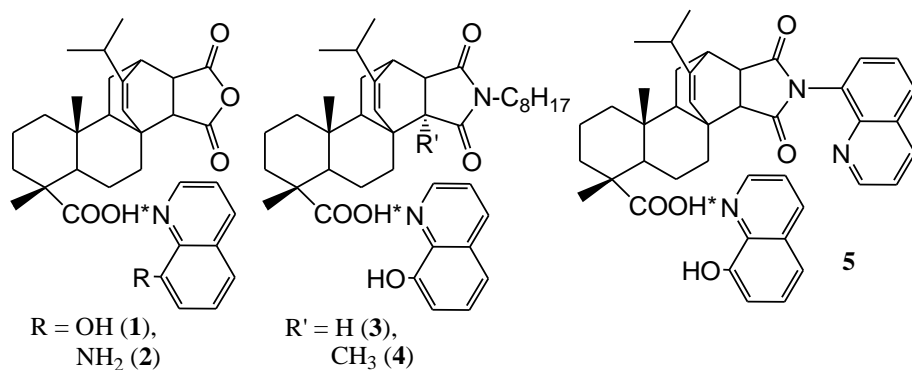
ОО (соль канифольномалеинового аддукта (КМА) и 8-оксихинолина, представляющая собой смесь аминовой соли **1** (до 70 %) и аминовых солей, присутствующих в КМА смоляных кислот: дегидроабиетиновой, дигидроабиетиновой, пимаровой и изопимаровой);

ОА (соль КМА и 8-аминохинолина, содержащая в качестве основного компонента аминовую соль **2** и аминовые соли дегидроабиетиновой, дигидроабиетиновой, пимаровой и изопимаровой кислот);

ООО (смесь аминовой соли N-октилимида малеопимаровой кислоты **3** и аминовых солей дегидроабиетиновой, дигидроабиетиновой, пимаровой и изопимаровой кислот, получаемая обработкой 8-оксихинолином продукта взаимодействия КМА с *n*-октиламином);

ОКО (смесь аминовой соли N-октилимида цитраконопимаровой кислоты **4** и аминовых солей смоляных кислот: дегидроабиетиновой, дигидроабиетиновой, пимаровой и изопимаровой, получаемая обработкой 8-оксихинолином продукта взаимодействия канифольноитаконного аддукта с *n*-октиламином);

ООМО (смесь аминовой соли N-(хинолин-8-ил)имида малеопимаровой кислоты **5** и аминовых солей смоляных кислот: дегидроабиетиновой, дигидроабиетиновой, пимаровой и изопимаровой, получаемая обработкой 8-оксихинолином продукта взаимодействия КМА с 8-аминохинолином).



Испытания бактериостойкости водорастворимых смазочно-охлаждающих жидкостей серии ЛХ (СОЖ ЛХ-2, ТУ РБ 100289145.001-2003 с изм. № 2 и СОЖ ЛХ-3 [5]) с добавками разработанных аминовых солей терпеноидных кислот (ОО, ОА, ООО, ОКО, ООМО) по отношению к аэробным бактериям (*Escherichia coli* Migula, *Staphylococcus aureus* Rosenbach, *Pseudomonas aeruginosa* Migula, *Corynebacterium glutamicum*, *Salmonella typhimurium* TA100, *Bacillus subtilis* 168), а также грибостойкости (мицелиальные грибы *Penicillium* sp., *Trichoderma viride*, дрожжи *Candida tropicalis*) были проведены по ГОСТ 9.085-78. Для сравнения были использованы промышленные биоцидные добавки: ACTICIDE®OX (бис-(5,5-диметил-1,3-оксазолидин-3-ил)метан) и Bionutral A18 (смесь гексагидро-сим-триазина и 1,2-бензоизотиазолин-3-она).

Установлено, что исследованные добавки (ОО, ОА, ООО, ООМО) в концентрации 1-2 % в 20 %-ном концентрате СОЖ ЛХ-2 (0,05-0,1 % в 1 %-ном рабочем растворе) придают полную бактериостойкость концентрату СОЖ ЛХ-2 по отношению ко всем исследованным бактериям, а 1 %-ному рабочему раствору СОЖ ЛХ-2 только по одной бактерии (*S. aureus*). Наиболее эффективной биоцидной добавкой является биоцид ОКО в количестве 2 % (0,1 % для рабочих растворов СОЖ), придающий полную бактериостойкость СОЖ ЛХ-2 в виде концентратов и рабочих растворов по отношению к исследованным грамположительным (*S. aureus*) и грамотрицательным (*E. coli*, *P. aeruginosa*) бактериям и полную грибостойкость по отношению к микромицетам *Trichoderma viride* и дрожжам *Candida tropicalis*. Использование в качестве биоцидной добавки смеси ОКО – 0,5 % (0,025 % для рабочих растворов СОЖ) и Acticide OX – 1,0 % (0,05 % для рабочих растворов СОЖ) придает 30 %-ному концентрату СОЖ ЛХ-3 и ее 1,5 %-ному рабочему раствору полную бактериостойкость по отношению к исследуемым бактериям.

Исследована совместимость добавки ОКО при введении в СОЖ. Установлено, что ОКО в виде 30–50%-ных растворов в диме-

тилформамиде, диметилсульфоксиде, ацетоне, этиловом спирте хорошо совмещается с водорастворимыми СОЖ ЛХ-2 (как с 20%-ным концентратом, так и с 1%-ным рабочим раствором) и СОЖ ЛХ-3 (30%-ный концентрат и 1,5%-ный рабочий раствор).

На основе полученных результатов разработаны рецептуры водорастворимых СОЖ серии ЛХ с биоцидной добавкой **ОКО** (смесь солей N-октилимида цитраконопимаровой кислоты и смоляных кислот канифоли с 8-оксихинолином), обладающие повышенной биостойкостью, которые могут быть внедрены на металлообрабатывающих предприятиях РБ.

ЛИТЕРАТУРА

1 Saha, R. The microbiology of metalworking fluids / R. Saha // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2012. – Vol. 94, No 5. – P. 1119–1130.

2 Возможность повышения активности дезинфицирующих средств / А.Н. Трофимов, В.Ф. Смирнов, Д.А. Кузьмин // *Химия растительного сырья*. – 2004. – Вып. 3. – С. 117 – 120.

3 Синтез и бактерицидная активность амидов дегидроабиетиновой кислоты / СяоПин Жао, ДзенКванг Сонг, С.Р. Кушнир, А.Б. Радбиль, Б.А. Радбиль // *Химия растительного сырья*. – 2008. – Вып. 2. – С. 91 – 94.

4 Antimicrobial composition 8-hydroxyquinoline, or derivative thereof, a polyethoxylated wetting agent and a water miscible vehicle: пат. 2413077 УК, МПК7 А О1 N 25/00 / Jemmet, E. Alan; заявл. 13.04.04; опубл. 19.10.05.

5 Смазочно-охлаждающая жидкость для механической обработки металлических сплавов и способ её получения : положит. решение на выдачу пат. Респ. Беларусь по заявке № а 20101455, МПК7 С 10 М 173/02, С 10 М 177/00 / В.Е. Агабеков, Ю.Н. Жидков, А.П. Ювченко, Н.В. Пучкова, Ю.В. Дуко ; заявитель ГНУ «Ин-т химии новых материалов НАН Б» – № а 20101455 ; заявл. 08.10.10.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ**

Эффективное функционирование субъектов хозяйствования лесного комплекса Республики Беларусь различной ведомственной и вневедомственной подчиненности в ближайшей перспективе определяется целенаправленной инновационно-инвестиционной политикой, обеспечивающей переход на современные технологии лесохозяйственного, лесозаготовительного и деревообрабатывающего производства, укреплением материально-технической базы и кадрового потенциала, развитием прогрессивных направлений потребления древесины и освоением новых видов продукции ее переработки. Реализация данных положений обусловлена дополнительным вовлечением в хозяйственный оборот значительных объемов древесных ресурсов в том числе и невостребованных в настоящее время мелкотоварной и низкосортной древесины хвойных и мягколиственных пород. В этой связи, особую актуальность приобретают вопросы комплексного и рационального использования древесного сырья и значительных объемов различных видов отходов, образующихся в результате его переработки.

Наиболее распространенным способом утилизации древесных отходов является их использование для получения тепловой и электрической энергии. Это обусловлено тем, что древесина (древесные отходы) представляет собой один из основных видов возобновляемых ресурсов, характеризующихся незначительным содержанием серы и не создающих эмиссии углекислого газа (CO_2) при сжигании. В настоящее время активно ведется создание мощностей по выпуску экологически чистого биотоплива (пеллет, брикетов), а энергетическое использование древесных отходов рассматривается как альтернатива традиционным видам топлива в масштабах международной энергетической политики. Так, в соответствии с целевыми плановыми показателями общие потребности в энергии стран ЕС к 2020 году должны на 20% удовлетворяться за счет использования возобновляемых источников [1].

С недавних пор, наиболее перспективным и инновационным вариантом в области рационального использования древесных отходов является производство экологически чистых древесно-полимерных композитных материалов (ДПК). Древесно-полимерный композит состоит из полимера (химического или натурального происхождения) и древесного наполнителя, модифицированного, как правило, химиче-

скими добавками. В качестве связующего в них используются термопластичные полимерные материалы (полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид), при этом содержание древесины может достигать 90% по массе. Особенность данного композитного материала заключается в том, что готовая продукция получается фактически из отходов производства и потребления: опилок, стружек, древесной муки, низкосортной древесины и вторичных пластмасс, переработанных в высококачественные изделия для широкого спектра применений. Изделия из ДПК отличаются высокой атмосферной, механической и химической устойчивостью, влаго- и водостойкостью, не подвержены короблению и растрескиванию. Хорошо держат металлические крепежи, не вызывают его коррозии. Они могут окрашиваться в массу или подвергаться лакокрасочной отделке обычными красками и эмалями, облицовываться синтетическими пленками или натуральным шпоном.

Изделия из древесно-полимерных композитов могут широко использоваться в строительстве, деревообработке, мебельном производстве и других отраслях народного хозяйства. Однако в настоящее время на территории республики древесно-полимерный композит не производится.

В этой связи, актуальным является вопрос организации различных вариантов технологических процессов переработки древесных отходов и оценки их экономической эффективности в условиях конкретного субъекта хозяйствования. В качестве объекта исследования выступает деревообрабатывающее производство ОАО «Борисовский ДОК». В настоящее время предприятие производит следующие виды продукцию: пиломатериалы, столярные и погонажные изделия, тонкие древесноволокнистые плиты средней плотности (MDF), тонкие древесноволокнистые плиты, облицованные пленочными материалами, клееный конструкционный брус, дома из клееного профилированного бруса, дома каркасно-панельные и др. Образующиеся древесные отходы перерабатываются на топливные древесные гранулы (пеллеты) в объеме более 13,5 тыс. м³ в год. В результате модернизации деревообрабатывающего производства и увеличения его мощности прогнозируется увеличение образования древесных отходов, которые планируется использовать в качестве основного сырья для организации одного из предлагаемых технологических процессов:

- увеличение объема производства топливных гранул за счет внедрения новой линии по производству пеллет;
- внедрение линии по производству топливных брикетов;

– внедрение линии по производству древесно-полимерного композита.

Имеющиеся и планируемые дополнительные объемы сырья и вырабатываемой продукции по рассматриваемым вариантам проектов технологических процессов переработки древесных отходов в условиях полной загрузки оборудования представлены на рисунке 1.

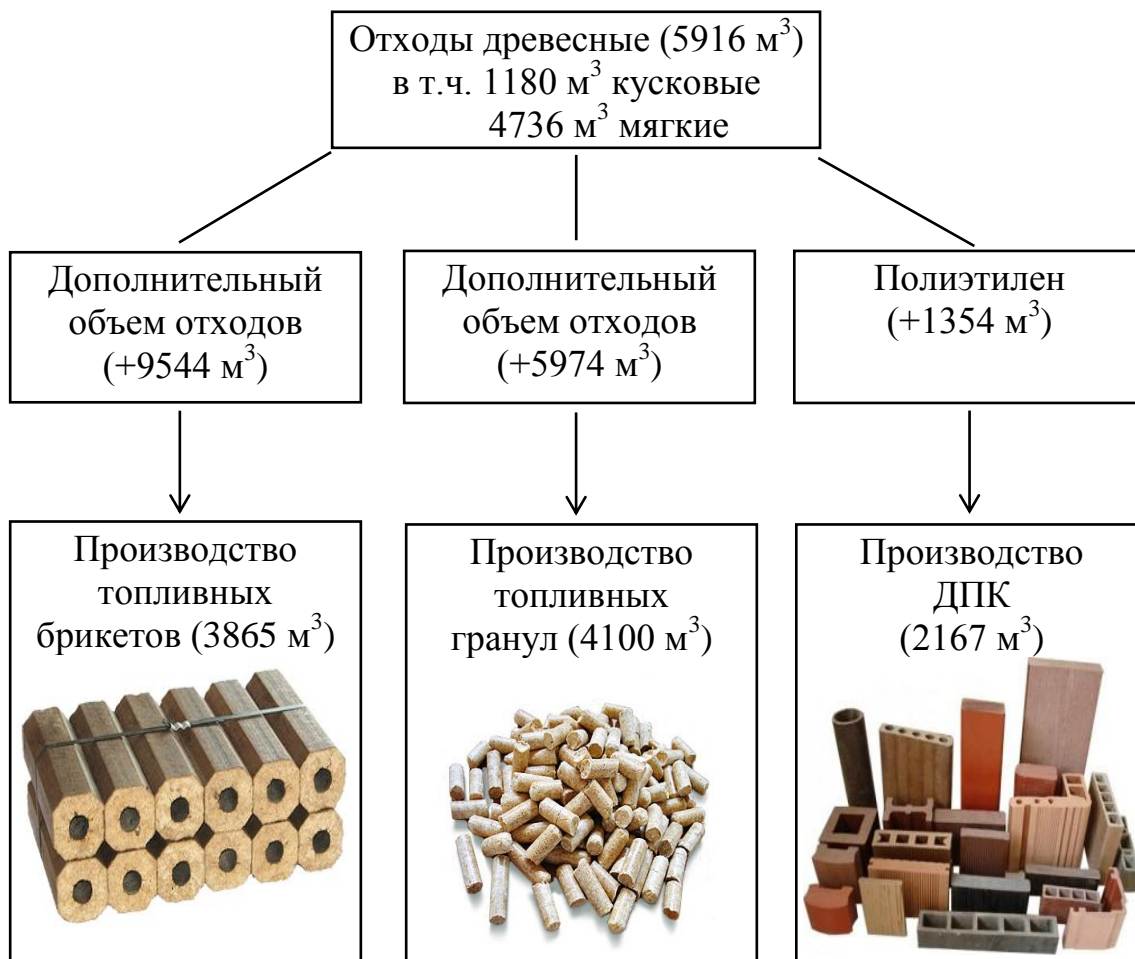


Рисунок 1 – Варианты использования древесных отходов и производства продукции их переработки

Сравнительная оценка экономической эффективности проектных вариантов производилась на основании данных полученных в результате проведенных исследований в области организации технологических процессов переработки древесных отходов в соответствие с нормативной и методической литературой [2]. В качестве показателей эффективности и финансовой устойчивости для оценки рассматриваемых вариантов принимались: чистый дисконтированный доход, простой срок окупаемости, динамический срок окупаемости, индекс рентабельности, уровень безубыточности, величина добавленной стоимости и др. Результаты расчетов приведенной системы показателей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка экономической эффективности вариантов организации производства продукции из древесных отходов

Показатель	Вид продукции		
	Топливные брикеты	Топливные гранулы	ДПК
Капитальные вложения на приобретение, монтаж оборудования и прирост оборотного капитала(без НДС), млн. руб.	1885	1799	3486
Удельные капитальные вложения, тыс. руб./м ³	81,3	73,1	268,1
Чистый дисконтированный доход, млн. руб.	874	992	6468
Простой срок окупаемости, лет	2,0	2,1	1,2
Дисконтированный срок окупаемости, лет	2,6	2,7	1,5
Рентабельность продукции, %	22,6	29,3	27,2
Рентабельность продаж, %	15	18,1	16,5
Индекс доходности	1,6	1,7	2,7
Уровень безубыточности, %	22,6	14,7	10
Добавленная стоимость на одного рабочего, млн. руб.	204,5	193,5	337,1

Анализ данных представленных в таблице 1 свидетельствует о достаточно высокой эффективности рассматриваемых вариантов технологических процессов переработки древесных отходов в условиях конкретного субъекта хозяйствования. Однако, вариант по производству изделий из древесно-полимерного композита позволяет предприятию диверсифицировать производство и повысить конкурентоспособность за счет нового высококачественного продукта не имеющего аналогов среди отечественных переработчиков древесных отходов. Данный проект требует больших капиталовложений, а также является более ресурсоемким, но в то же время имеет самые высокие абсолютные показатели эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. ООН: Ежегодный обзор рынка лесных товаров, 2010–2011 годы. – Женева, 2011.
2. Правила по разработке бизнес-планов инвестиционных проектов: (в редакции постановления М-ва экономики Респ. Беларусь № 15 от 29.02.12). – Минск, 2012.

П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук,
Д.В. Куис, зав. каф., доц., канд. техн. наук,
О.Г. Рудак, ассист., магистр техн. наук,
О.Ю. Пискунова, инженер
(БГТУ, г. Минск)

ХВОСТОВАЯ ФРЕЗА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АСПИРАЦИИ

На сегодняшний день наибольшее распространение нашли плитные древесные материалы, полученные методами плоского прессования.

В связи с особенностями технологии изготовления данные материалы имеют плотность, неодинаковую по толщине. Многие из них характеризуются значительно более высокой плотностью в областях пластей плит и рыхлой средней частью.

Так у древесностружечных плит (ДСтП) плотность областей, прилегающих к пластям, достигает 1000 кг/м^3 , в то время как плотность средней части около 400 кг/м^3 .

На рисунке 1 представлена фотография, иллюстрирующая неодинаковую плотность ДСтП по толщине.



Рисунок 1 – Неодинаковая плотность ДСтП по толщине

Неодинаково по толщине и содержание связующего, особенно в случае отделки пластей плит синтетическими пленками, когда поверхностная область плит может содержать до 35% законденсированного клея, а средняя часть 6–12%.

В связи с указанными особенностями древесных материалов в процессе их фрезерования стружка, отделенная от пластей (верхней и нижней частей заготовки) покидает зону резания в виде более уплот-

ненных малорассеянных потоков, которые медленно теряют свою кинетическую энергию и улавливание которых требует организации в стружкоприемнике более высоких скоростей аспирирующих потоков воздуха, что сопряжено с возрастанием энергопотребления.

Создание универсального стружкоприемника с расположением щели-воздухозаборника непосредственно на пути движения нерассеянных снопов стружки затруднено сложной зависимостью траектории движения стружки, покинувшей зону резания от многих факторов, в том числе от физико-механических характеристик обрабатываемого древесного материала, угловых параметров и состояния поверхностей лезвий инструмента, режима обработки.

Увеличение площади щели-воздухозаборника для повышения вероятности попадания в нее плотного потока частиц нерационально, поскольку требует повышения энергетических затрат на поддержание необходимых скоростей аспирирующих воздушных потоков.

Малорассеянные потоки стружки, не попадающие в щель воздухозаборника, могут отражаться от близлежащих поверхностей стружкоприемника и, значительная часть элементов стружки, сохранивших после отражения высокую скорость движения, способны покидать стружкоприемник, не будучи уловленными.

Целесообразным является размещение режущих элементов на корпусе фрезы, обеспечивающее пересечение плотных потоков стружки, образующихся при фрезеровании пластей, с целью рассеяния плотных потоков, уменьшения кинетической энергии древесных частиц, что обеспечит энергосберегающую аспирацию.

При этом обработка средней, рыхлой области древесного материала, где древесные частицы в гораздо меньшей степени связаны друг с другом, сопряжена с формированием неплотного потока стружки, который после выхода из зоны резания интенсивно рассеивается, и частицы которого быстрее теряют скорость движения, двигаясь широким фронтом. Улавливание указанных частиц также требует обеспечения повышенных скоростей воздушных потоков в воздухозаборнике с учетом интенсивного падения скорости аспирирующих потоков при удалении от всасывающей щели.

Сообщение режущими элементами рассеянному потоку стружки направленного движения в сторону воздухозаборника (в верхнем направлении), позволит сократить скорость аспирирующих воздушных потоков, транспортируя древесные частицы в область, менее удаленную от щели воздухозаборника, где скорости воздушных потоков выше.

Задачей описываемой разработки является повышение эффективности аспирации при фрезеровании древесных материалов с уче-

том особенностей формирования потоков стружки, покидающих инструмент, за счет использования собственной кинетической энергии стружки.

Решение задачи достигается за счет того, что хвостовая фреза для обработки древесных материалов содержит режущие элементы, расположенные на корпусе фрезы под углом к оси ее вращения группами с частичным перекрытием друг друга режущими элементами соседних групп, и отличается тем, что на одной образующей корпуса фрезы располагают пару режущих элементов, а на диаметрально противоположной стороне корпуса располагают отдельный режущий элемент, так, чтобы углы наклона режущих элементов к оси фрезы были 25° , при этом верхний режущий элемент пары наклоняют вниз, а нижний режущий элемент пары и режущий элемент, расположенный отдельно, наклоняют вверх.

На рисунке 2 представлена схема обработки древесного материала хвостовой фрезой в процессе работы пары режущих элементов.

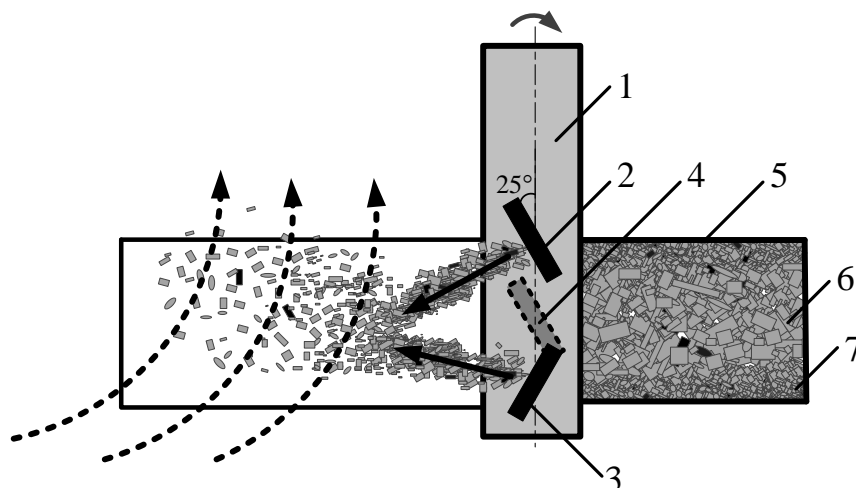


Рисунок 2 – Схема обработки древесного материала хвостовой фрезой в процессе работы пары режущих элементов

Хвостовая фреза 1, содержащая пару режущих элементов 2 и 3 на одной образующей корпуса фрезы, и отдельный режущий элемент 4 на диаметрально противоположной стороне корпуса обрабатывает боковую поверхность древесного материала 5. Древесный материал неоднороден по толщине и характеризуется меньшей плотностью в средней части 6 и более высокой плотностью в областях 7, прилегающих к пластикам.

Стружка, срезанная верхним и нижним режущими элементами, покидает фрезу сориентированной соответственно в нижнем и верхнем направлениях.

Углы наклона режущих элементов 25° к оси фрезы обеспечивают сход стружки с нижнего режущего элемента с большей скоростью, чем с верхнего, что установлено расчетом.

В результате пересечения потоков стружки, покинувших фрезу с нижнего и верхнего режущих элементов, потоки стружки рассеиваются, кинетические энергии древесных частиц уменьшаются, и древесные частицы более эффективно захватываются аспирирующими воздушными потоками, направления которых вверх на рис. 2 показаны пунктирными стрелками.

На рисунке 3 представлена схема обработки древесного материала фрезерованием в процессе работы отдельного режущего элемента.

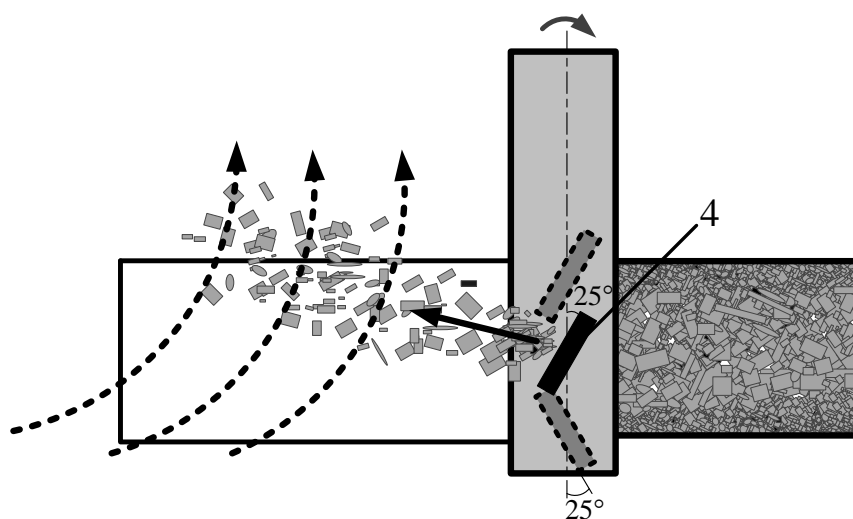


Рисунок 3 – Схема обработки древесного материала фрезерованием в процессе работы отдельного режущего элемента

Отдельный режущий элемент 4 имеет угол наклона 25° вверх к оси фрезы. Отдельный режущий элемент обрабатывает среднюю, более рыхлую часть древесного материала и обеспечивает выход стружки с хвостовой фрезы менее плотным потоком частиц вверх, в сторону воздухозаборника, что благоприятно с точки зрения аспирации.

Таким образом, благодаря рассеянию кинетической энергии аспирируемых частиц за счет формирования пересекающихся потоков стружки от более плотных пластей древесного материала, а также направления стружки в сторону воздухозаборника от менее плотной средней части древесного материала достигается повышение эффективности и сокращение энергетических затрат на аспирацию.

А.Ю. Сидоренко, Г.М. Сеньков, Д.Б. Утенкова
(Институт химии новых материалов НАН Беларуси)

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КИСЛОТНОЙ МОДИФИКАЦИИ ПРИРОДНОГО АЛЮМОСИЛИКАТА НА ЕГО СОСТАВ, СТРУКТУРУ И КАТАЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ В РЕАКЦИИ ИЗОМЕРИЗАЦИИ α -ПИНЕНА

Введение. В процессе каталитической изомеризации α -пинена (основного компонента скипидара) образуются, в основном, камфен и дипентен, которые используются в синтезе душистых и биологически-активных соединений [1, 2]. В промышленности изомеризацию α -пинена чаще всего проводят в присутствии титановых катализаторов, к недостаткам которых, прежде всего, можно отнести их относительно низкую активность [1, 3]. Актуальной задачей является разработка более эффективных катализаторов для этого процесса. Ранее [1] нами установлено, что обработка природного алюмосиликата (глины) месторождения «Стальное» (Al-Si РБ) 25–250 мл/г 10 % HCl приводит к увеличению его каталитической активности в реакции изомеризации α -пинена [1]. Цель настоящей работы – установить влияние концентрации модификатора (водного раствора HCl) на состав, структуру и каталитические свойства Al-Si РБ.

Экспериментальная часть. Навески алюмосиликата обрабатывали 50 мл/г 1,0, 5,0, 10,0, 15,0 и 20,0 % HCl в течение 3 ч при 50°C, затем промывали дистиллированной водой, сушили при 105°C и прокачивали при 125°C.

Химический состав Al-Si РБ определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа (система EDX JED 2201). Параметры пористой структуры образцов измеряли на анализаторе ASAP 2020 MP (Micromeritics). ИК-спектры алюмосиликата записывали при помощи ИК-Фурье спектрометра Bruker Tensor 27.

Изомеризацию α -пинена проводили при температуре 130°C в присутствии 0,5 мас.% исходного и модифицированных образцов Al-Si РБ. Анализ продуктов реакции осуществляли на газовом хроматографе Хромос ГХ–1000.

Обсуждение результатов. Обработка Al-Si РБ 1–10% HCl приводит к увеличению содержания в нем Al_2O_3 на 3,0–5,0 %, уменьшению FeO – на 27,0–43,0 %, MgO – на 35,0–42,0 % и CaO – на 84,0–86,0% соответственно (таблица 1). В этих условиях количество Na_2O снижается на 13,0%, а K_2O – практически не изменяется. При концентрации модификатора 15,0 и 20,0% наблюдается уменьшение содержания в нем всех оксидов металлов (таблица 1). Наиболее устойчи-

вым к обработке HCl является алюминий, уменьшение количества которого невелико даже при действии на Al-Si РБ 20% HCl (таблица 1). В то же время при концентрации модификатора 1,0% «вымывается» значительная часть оксидов железа, кальция и магния. Это свидетельствует об удалении из состава глины при ее кислотной обработке примесей – карбонатов и аморфного железа. Таким образом, при концентрациях HCl 5,0–20,0% изменения в химическом составе глины обусловлены катионным обменом и разрушением части тетра- и октаэдрических слоев алюмосиликата.

Таблица 1 – Химический состав и пористая структура Al-Si РБ

Конц. HCl, %	Содержание оксидов, мас. %								Пористая структура		
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeO	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	CaO	TiO ₂	S _{уд.} , м ² /г	V _{пор.} , см ³ /г	D _{пор.} , нм
0 (исходный)	19,5	54,4	9,80	0,80	2,60	5,30	6,30	1,20	52,0	0,11	8,9
1	20,0	62,90	7,20	0,80	1,70	5,30	1,0	1,20	56,0	0,12	8,9
5	20,30	64,0	6,0	0,75	1,60	5,25	0,95	1,20	63,0	0,12	9,2
10	20,40	64,60	5,60	0,70	1,50	5,25	0,90	1,10	72,0	0,13	9,5
15	19,50	66,90	4,90	0,65	1,10	5,10	0,80	1,10	88,0	0,14	9,4
20	18,70	69,50	4,0	0,60	0,70	4,90	0,60	1,0	86,0	0,16	9,7

На ИК-спектрах образцов Al-Si РБ, обработанных 50 мл/г 1–20% HCl (рисунок 1, а), отсутствуют полоса поглощения (ПП) при 1436, 876 и 727 см⁻¹, которые наблюдаются у исходной глины и относятся к валентным колебаниям ионов CO₃²⁻ [4]. Следовательно, из состава Al-Si РБ карбонаты удаляются уже при обработке 1,0% HCl, что подтверждается и результатами химического анализа (таблица 1).

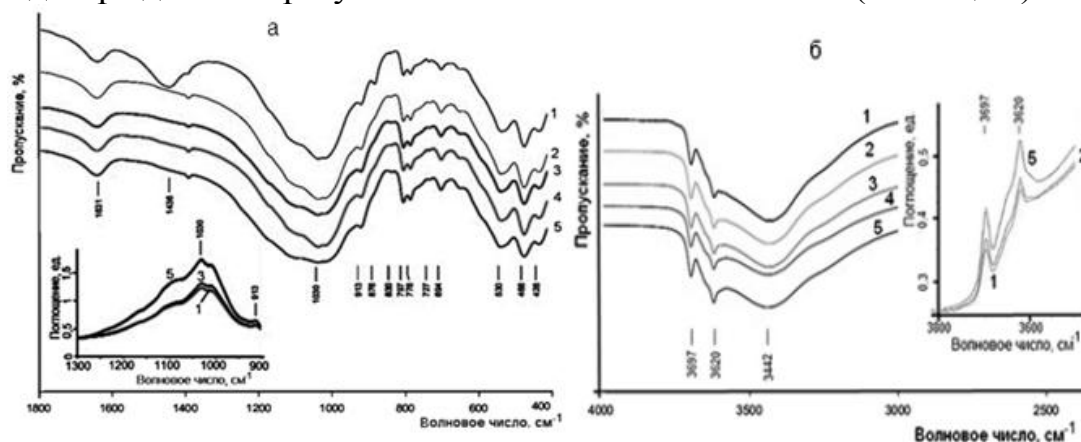


Рисунок 1 – ИК-спектры образцов Al-Si РБ исходного (1) и модифицированных HCl с концентрацией, %: 1 (2), 10 (3), 15 (4) и 20 (5)

После модифицирования алюмосиликата 15,0–20,0% HCl интенсивная полоса поглощения при $\sim 1030 \text{ см}^{-1}$, относящаяся к валентным колебаниям Si–O связи, возрастает по интенсивности и становится более широкой в области $1200\text{--}1100 \text{ см}^{-1}$ (рисунок 1, а). Это указывает на увеличение доли кремния в образцах и на наличие в связях Si–O–Si углов, близких к 180° , которые характерны для аморфного кремнезема [4]. Таким образом, обработка Al-Si РБ 15,0–20,0% HCl приводит к разрушению части его кристаллической структуры и образованию некоторого количества аморфного SiO₂. Однако частота ПП при $\sim 1030 \text{ см}^{-1}$ практически не изменяется, следовательно, существенной деструкции каркаса не происходит. На ИК-спектрах образцов Al-Si РБ, модифицированных 10,0–20,0% HCl, наблюдается возрастание интенсивности сильных ПП при 3697 и 3620 см^{-1} , относящихся к валентным колебаниям гидроксильных групп, координированных с катионами металлов (рисунок 1, б) [4]. Следовательно, в результате кислотной модификации алюмосиликата происходит увеличение содержания в нем гидроксидов за счет катионного обмена.

Конверсия α -пинена за 6 ч реакции в присутствии исходного алюмосиликата составляет 2,7 % и после его модификации 50 мл/г 1,0, 5,0, 10,0, 15,0 и 20,0% HCl увеличивается до 18,2, 69,8, 89,4, 49,3 и 26,8% соответственно (рис. 2). При этом количество камфена в изомеризате возрастает от 5,3 до 14,0, 41,8, 52,1, 30,8 и 18,6 мас.%, а дипентена – от 1,0 до 4,5, 16,2, 18,9, 11,5 и 7,3 мас.% соответственно (рисунок 2).

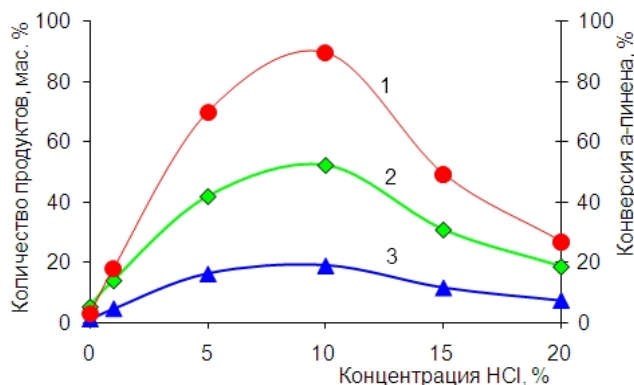


Рисунок 2 – Зависимость конверсии α -пинена (1), концентрации камфена (2) и дипентена (3) в изомеризате от количества модификатора (время реакции – 6 ч)

Таким образом, наибольшая степень превращения α -пинена и максимальное количество целевых продуктов реакции (камфен, дипентен) наблюдается в присутствии алюмосиликата, модифицированного 50 мл/г 10,0 % HCl. Увеличение каталитической активности Al-Si РБ после кислотной обработки происходит вследствие замещения его

обменных катионов на протоны кислоты, в результате чего увеличивается количество брэнстедовских кислотных центров, на которых протекает изомеризация α -пинена [1]. Увеличение концентрации модификатора до 15,0 и 20,0 % приводит к снижению активности алюмосиликата, что можно объяснить деструкцией части его каркаса.

Выводы. Установлено, что в процессе кислотной обработки алюмосиликата происходит:

- удаление из его состава примесей (карбонаты, аморфное железо) и увеличение удельной поверхности;
- вымывание каркасных и обменных катионов, причем степень их удаления увеличивается с ростом концентрации модификатора;
- катионный обмен, в результате чего повышается кислотность, и, как следствие, каталитическая активность Al-Si РБ.

Наибольшую активность проявляет алюмосиликат, модифицированный 50 мл/г 10 % HCl. В присутствии 0,5 мас.% этого катализатора за 6 ч реакции конверсия α -пинена достигает 89,4%, концентрация камфена и дипентена в изомеризате ~ 52,0 и ~ 19,0 мас.% соответственно.

Уменьшение активности Al-Si РБ, модифицированного 50 мл/г 15 и 20% HCl, (по сравнению с 10% HCl) происходит в результате деструкции части каркаса алюмосиликата и снижения степени его кислотности.

ЛИТЕРАТУРА

1 Sidorenko, A. Yu. Effect of Acid Treatment on the Composition and Structure of a Natural Aluminosilicate and on Its Catalytic Properties in α -Pinene Isomerization / A. Yu. Sidorenko, G.M. Sen'kov, V.E. Agabekov // *Catalysis in Industry*. – 2014. – Vol. 6, №. 2. – P. 94–104.

2 Ильина, И.И. Каталитический синтез душистых веществ из растительных монотерпенов / И.И. Ильина, Н.В. Максимчук, В.А. Семиколенов // *Рос. хим. ж* – 2004. – т. XLVIII, №3. – С. 38 – 53.

3 Recent progress in synthesis of fine and specialty chemicals from wood and other biomass by heterogeneous catalytic processes / P. Maki-Arvela [et. al.] // *Cat. Rev.* – 2007. – Vol. 49. – P. 197–340.

4 Handbook of clay science. Part A: Fundamentals / Edited by F. Bergaya and G. Lagaly. – *Developments in clay science*. – Elsevier. – 2013. – Vol. 5 – P. 1752.

Н. А. Коваленко, доц., канд. хим. наук,
Г. Н. Супиченко, ассист., канд. хим. наук,
А. В. Янцевич, с.н.с., канд. хим. наук,
В. Н. Леонтьев, доц., канд. хим. наук.
(БГТУ, г. Минск)

ЭКСТРАКТЫ ЗВЕРОБОЯ ПРОДЫРЯВЛЕННОГО С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ГИПЕРИЦИНА

Растения семейства *Hypericum perforatum* и препараты из них широко используются в современной медицине в качестве антибактериальных, противовоспалительных, антидепрессантных и фотосенсибилизирующих лекарственных средств [1]. Наиболее ценными биологически активными соединениями зверобоя продырявленного являются гиперин и его изомерные формы. Поскольку трава зверобоя широко распространена на территории Республики Беларусь, она может служить доступным и дешевым сырьем для извлечения гиперина.

Цель настоящей работы – изучение условий выделения гиперина из травы зверобоя продырявленного.

В работе были использованы воздушно-сухие образцы надземной части *Hypericum perforatum* L. (сорт Янтарь) из коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси.

Качественный и количественный анализ гиперина в экстрактах проводили методами электронной спектроскопии и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). В качестве стандартного образца использовали гиперин производства Carl Roth GmbH (Германия). Спектрофотометрический анализ проводили на приборах ПЭ-5400УФ. ВЭЖХ-анализ проводили с использованием хроматографа Assela, оснащенного диодно-матричным детектором.

Проведенные ранее исследования по выбору условий выделения гиперина из травы зверобоя продырявленного с применением двухфазной системы экстрагентов [2] позволили получить экстракт с содержанием гиперина менее 1 мас. %.

С целью получения препаратов с более высоким содержанием гиперина мы провели исследования по выбору и оптимизации условий последующей очистки экстракта.

Известно [3], что дубильные вещества, входящие в состав экстрактов зверобоя, можно удалять обработкой различными растворителями с последующим выпариванием экстрактов и обработкой последних ацетатом меди или свинца, хлоридом натрия и другими реагентами. Однако тяжелые металлы являются токсичными и их использование для обогащения экстрактов зверобоя гиперинном недопустимо.

С целью очистки экстракта мы предложили эффективный способ удаления дубильных веществ с использованием водных растворов желатины. Проведенные исследования позволили выбрать оптимальные условия обработки, включающие обработку экстракта 1%-ным раствором желатины в объемном соотношении 8–25 : 1. Выпавший осадок комплекса дубильных веществ удаляют центрифугированием.

По литературным данным [4], гиперин растворим в большинстве органических растворителей, в воде растворяется только при высоких значениях рН. Исходя из различий кислотно-основных свойств гиперина и примесных компонентов, мы предложили схему дальнейшего обогащения экстракта гиперином, заключающуюся в следующем.

После удаления комплекса дубильных веществ и вакуумной концентрации раствора при температуре ниже 45°C экстракт зверобоя растворяли в 0,2%-ном водном растворе аммиака. После центрифугирования окрашенный фильтрат, содержащий гиперин, обрабатывали муравьиной кислотой до рН = 2–3. Темно-синий осадок гиперина после повторного переосаждения отделяли центрифугированием и к сухому остатку добавляли хлористый метилен, в котором гиперин не растворяется.

Для контроля содержания гиперина продукты, полученные на каждой стадии обработки, растворяли в этаноле (таблица) и регистрировали электронные спектры поглощения растворов.

Таблица – Характеристика экстракта после различных видов обработки

№ образца	Вид обработки экстракта
1	Этанольный раствор после отделения дубильных веществ
2	Этанольный раствор аммиачного экстракта
3	Фильтрат в этаноле после обработки муравьиной кислотой
4	Раствор осадка в этаноле после осаждения муравьиной кислотой
5	Фильтрат в этаноле после повторного переосаждения из аммиачного раствора
6	Этанольный раствор осадка после обработки хлористым метиленом

Анализ электронных спектров поглощения стандартного образца гиперина и растворов экстрактов травы зверобоя позволил предложить достаточно простую и информативную методику оценки чистоты препаратов зверобоя, основанную на сравнении отношения интенсивностей полос поглощения экстрактов в УФ- и видимой областях спектра [5]. В качестве реперных длин волн в УФ-области использовали $\lambda \approx 270$ нм и 330 нм, а в видимой части спектра – аналитическую длину волны гиперина с $\lambda \approx 590$ нм. Диаграмма, отражающая отношение интенсивностей реперных полос поглощения препаратов, приведена на рисунке 1.

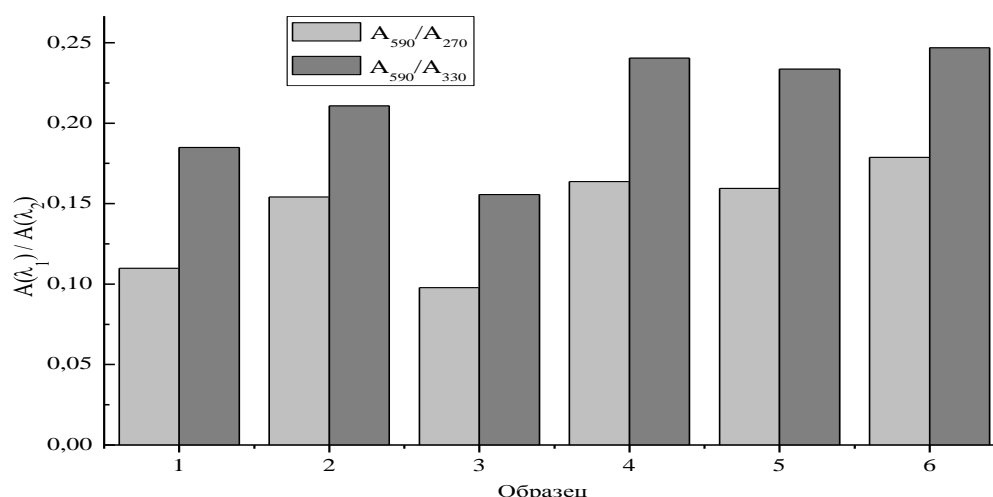


Рисунок 1 – Отношение интенсивности полос поглощения образцов в УФ- и видимой областях в зависимости от вида обработки экстракта

Наибольшие значения отношения интенсивностей наблюдаются в спектрах фракций 4–6, что свидетельствует о более высокой степени чистоты этих образцов.

Подтверждением спектрофотометрических данных являются ВЭЖХ-хроматограммы экстракта зверобоя до (рисунок 2) и после проведения всех видов обработки (рисунок 3). Пики со временем удерживания около 10 мин (длина волны детекции 590 нм) соответствуют гиперцину.

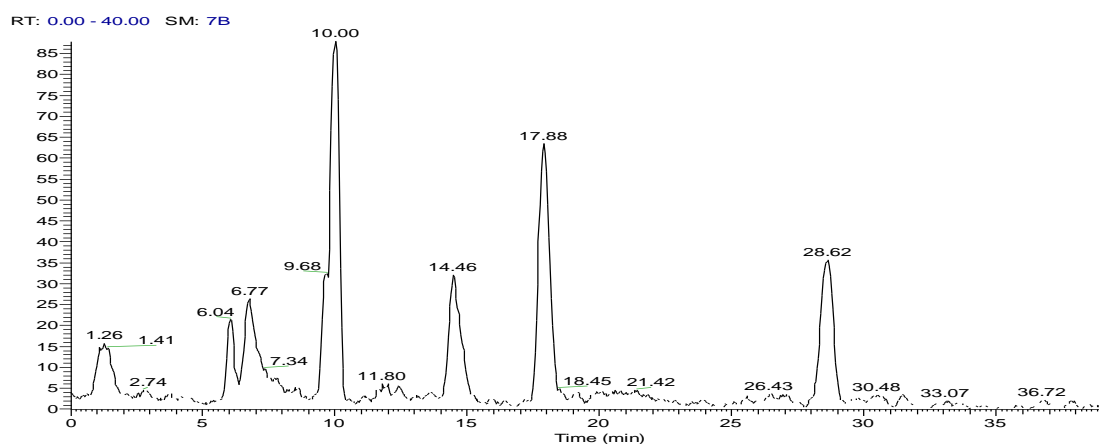


Рисунок 2 – ВЭЖХ-хроматограмма этанольного раствора неочищенного экстракта

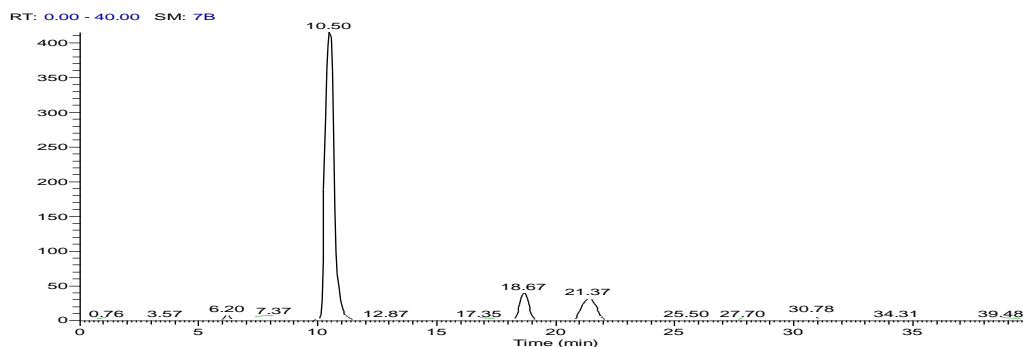


Рисунок 3 – ВЭЖХ-хроматограмма этанольного раствора экстракта после очистки

Сравнение ВЭЖХ-хроматограмм показывает высокую эффективность предложенной схемы очистки экстракта зверобоя продырявленного, позволяющей получать препараты с содержанием гиперицина не менее 5 мас. %.

ЛИТЕРАТУРА

1 Георгиевский, В. П. Биологически активные вещества лекарственных растений / В. П. Георгиевский, Н. Ф. Комиссаренко, С. Е. Дмитрук. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. – 333с.

2 Коваленко Н.А., Супиченко Г.Н., Леонтьев В.Н., Стасевич О.В. «Влияние условий получения на спектральные характеристики экстрактов травы зверобоя» // «Фундаментальные науки – медицине»: материалы Междунар. научн. конф. (Минск, 17 мая 2013 г.), Минск, Беларусь. Минск, «Беларуская навука», 2013. В 2-х частях, ч. 1, с. 332 – 334.

3 Химический анализ лекарственных растений: Учеб.пособие для фармац.вузов /Ладыгина Е.Я. и др. Под редакцией Гринкевич Н. И. – Москва: Высш. Школа, 1983. – 176 с.

4 Правдивцева, О. Е. Сравнительное исследование химического состава надземной части некоторых видов рода *Hypericum* L. / О.Е. Правдивцева, В. А. Куркин // Химия растительного сырья. – 2009. – № 1. – С. 79–82.

5 Коваленко Н.А., Супиченко Г.Н., Леонтьев В.Н., Стасевич О.В. «Оценка содержания гиперицина в экстрактах травы зверобоя по данным спектрофотометрического анализа» / 77-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: тезисы докладов. Минск, 4–9 февраля 2013. [Электронный ресурс] – Минск: БГТУ, 2013, С. 10.

С.И. Минкевич, доц., канд. с.-х. наук
 П.В. Севрук, магистрант
 М.А. Иванов, В.Е. Лавринович, студенты
 (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА ЗАГОТОВЛЕННЫХ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

В соответствии с указом Президента Беларуси А. Г. Лукашенко № 504 «О внесении изменений и дополнений в указы Президента Республики Беларусь от 7 мая 2007 г. № 214 и от 9 сентября 2009 г. № 444» для осуществления перехода к реализации древесины в заготовленном виде вводится норма по постепенному уменьшению объемов реализации древесины на корню на биржевых торгах. В этой связи еще более актуальным становится анализ рабочих методов таксации заготовленных круглых лесоматериалов (КЛМ). Совершенствование системы учета древесины также важно с точки зрения соответствия международным нормам и требованиям, так как экспортный потенциал отрасли будет возрастать [1–3]. В настоящее время из группы поштучных методов (по СТБ 1997–2012) основной рабочий метод – метод «верхнего диаметра». Описания предлагаемых в СТБ 1667–2012 поштучных методов определения объемов КЛМ не содержат данные в отношении точности конечного результата (имеются данные в отношении «погрешности измерений», - для метода верхнего диаметра «не должна превышать 5%»). Полевой экспериментальный материал представлен результатами обмера 105 КЛМ, выполненных на нижнем лесоскладе Негорельского учебно-опытного лесхоза. Для каждого сортамента с использованием поверенной рулетки измеряли диаметр без коры (до 0,1 см) в двух взаимно перпендикулярных направлениях с нахождением среднего значения (в верхнем и нижнем торце), а также длину сортамента (до 0,01 м). Для сравнения результатов, кроме определения объема каждого лесоматериала по ГОСТ 2708-75, были выполнены расчеты по формуле концевых сечений (формула Смалиана), а также по формуле усеченного конуса (таблица 1).

**Таблица 1– Отклонения объемов КЛМ по таблицам ГОСТ 2708–75
 в сравнении с данными «арбитражных» формул**

Диаметр верхнего среза без коры, см	Разница объемов при величине сбега бревна (см/м), %			
	концевых сечений (Смалиана)		усеченного конуса	
	до 1,0	1,01 и более	до 1,0	1,01 и более
до 20	2,9	–13,3	3,6	–11,5
22–28	1,5	–10,0	2,0	–8,9
30 и более	7,9	–10,8	8,4	–9,7

Наибольшие отклонения наблюдаются для лесоматериалов с повышенным сбегом – 13,3% и 11,5% (соответственно по формуле конечных сечений и усеченного конуса). Отрицательные значения свидетельствуют о том, что таблицы ГОСТ 2708–75 занижают объемы сортиментов в сравнении с «арбитражными» методами определения объема круглых лесоматериалов. В том же время, для лесоматериалов, у которых сбег менее 1,0 см/м в большинстве случаев находятся в границах 5% относительно объемов, определенных методом двух сечений (формулы Смалиана и усеченного конуса) (рисунки 1–2).

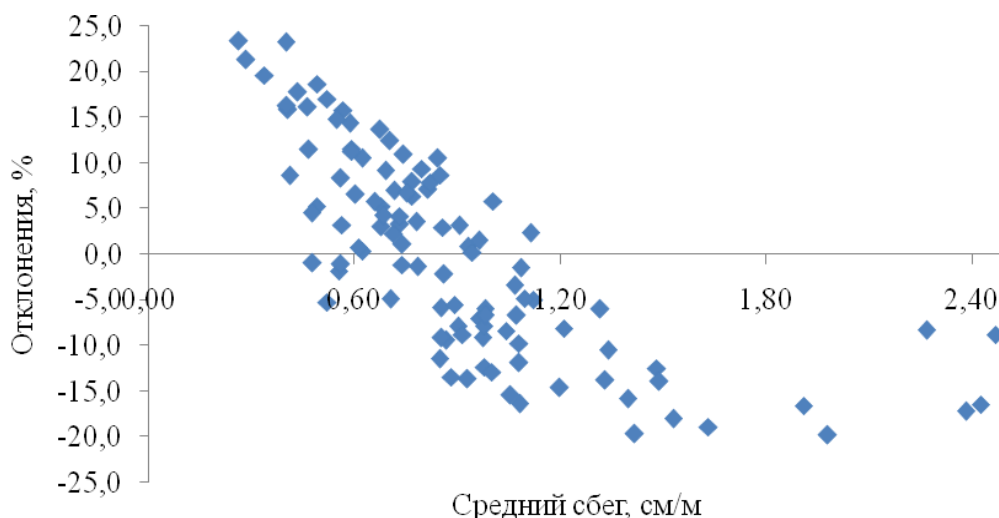


Рисунок 1 – Отклонения объемов КЛМ по таблицам стандарта ГОСТ 27058–75 в сравнении с данными по формуле Смалиана

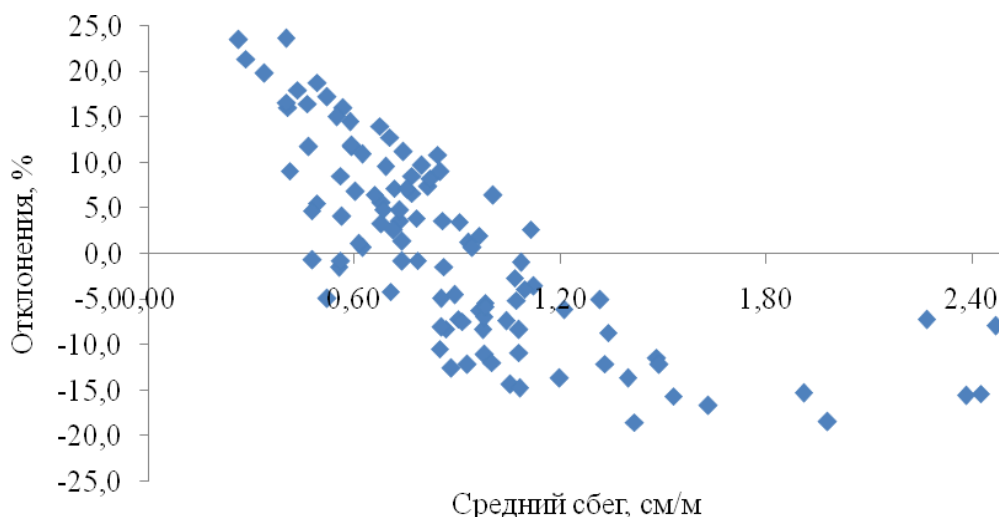


Рисунок 2 – Отклонения объемов КЛМ по таблицам стандарта в сравнении с данными по формуле усеченного конуса

Основная таблица используемого в нашей стране стандарта ГОСТ 2708–75 «Лесоматериалы круглые. Таблицы объемов» разработана А.А. Крюденером еще в 1913 г. для еловых «комлевых» бревен. Затем стандарт был распространен на бревна всех пород (и для территории всего СССР). Целесообразно уточнение метода верхнего диаметра с учетом среднего сбega в партии обмеряемого круглого леса (с внесением поправок в объемы, полученные в таблице ГОСТ 2708-75 по реальной величине сбega) [4, 5].

Производственный учет по методу срединного сечения (равно как и по методу концевых сечений) трудно осуществим (необходима раскатка штабеля для измерения диаметров бревен на их середине). Метод концевых сечений имеет практическое значение как метод экспертной оценки.

На наш взгляд, есть необходимость классификации представленных методов (СТБ 1667–2012) по возможности их практического применения:

– методы рабочего учета круглых лесоматериалов – автоматизированный учет харвестерами, на линиях поштучного учета, распиловки и сортирования; метод «верхнего» диаметра (ГОСТ 2708–75);

– методы контрольного учета – «арбитражные» методы концевых сечений (формула Смалиана, усеченного конуса); метод срединного сечений [4, 5].

ЛИТЕРАТУРА

1 Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь [Электронный ресурс] / МинлесхозРесп. Беларусь. – Минск, 2014. – Режим доступа: <http://www.mlh.by/> – Дата доступа: 29.10.2014.

2. Мінкевіч, С. І. Аналіз сістэмы ўліку і кантролю руху драўніны на яе адпаведнасць нормам Еўрапейскага рэгламенту / С. І. Мінкевіч, А. А. Буй // Працы БДТУ. – 2013. – № 1: Лясная гасп-ка. – С. 36 – 39.

3. Regulation (EU) of the European Parliament and of the Council of 20.10.2010 laying down the obligations of operators who place timber and timber products on the market: № 995/2010. – ent. into force 03.03.2013. – Brussels: EU Official Journal, 2010. – P. 23–34.

4. Мінкевіч, С. І. Аналіз паштучных метадаў таксацыі нарыхтаваных круглых лесаматэрыялаў / С. І. Мінкевіч, Э. Петраўскас, П. У. Сяўрук // Працы БДТУ. – 2014. – № 1: Лясная гасп-ка. – С. 31–34.

5. Минкевич, С.И., Буй, А.А. Практика определения объема и качества заготовленной древесины в Беларуси и зарубежных странах / С.И. Минкевич, А.А. Буй // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2013. – Вып. 73: Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 343–354.

УДК 676.18

Е.К. Тимофеева, асп.; П.И. Письменский, канд. техн. наук, мл.н.с.

Т.П. Шкирандо, ст.науч.сотр.;

Т.В. Соловьева, проф., д-р техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ В КОМПОЗИЦИИ БУМАГИ ДЛЯ ОФСЕТНОЙ ПЕЧАТИ ВЗАМЕН ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

В Республике Беларусь около 80% полиграфической продукции запечатывается офсетным способом. Особенности этого способа печати определяют основные требования к качеству используемой бумаги, где большое значение имеют: поверхностная прочность бумаги, впитываемость, линейная деформация бумаги при увлажнении и последующем высыхании, отсутствие пылимости и непрозрачность. Основную роль в достижении требуемых свойств играют волокнистые полуфабрикаты, которые используются при производстве бумаги [1].

В настоящее время в качестве сырья используется, как правило, целлюлоза и высококачественное макулатурное сырье. Для предприятий Республики Беларусь весьма актуальна проблема замены дорогостоящей импортируемой целлюлозы на более дешевый полуфабрикат и макулатуру.

На кафедре ХПД БГТУ были проведены исследования по изучению влияния содержания термомеханической (ТММ) и химико-термомеханической (ХТММ) массы в композиции бумаги для офсетной печати на ее свойства. В качестве сравнения изготавливали бумагу из традиционно используемой беленой сульфатной целлюлозы из древесины лиственных (СФА_л) и хвойных (СФА_{хв}) пород.

Свойства волокнистых полуфабрикатов после их роспуска в лабораторном гидроразбивателе (ЛГ-1) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства волокнистых полуфабрикатов

Наименование показателя	Значение показателя для			
	ТММ	ХТММ	СФА _л	СФА _{хв}
Влажность, %	9,78	8,12	10,20	9,80
Степень помола, °ШР	66	65	16	14
Показатель средневзвешенной длины волокна, дг	36	35	37	114
Скорость обезвоживания, мл/с	21,6	25,0	70,0	100,0
Фракционный состав, доля фр., %				
- фракция I	42,15	11,37	0,05	87,18
- фракция II	15,35	29,03	24,50	7,21
- фракция III	9,11	19,50	42,90	4,32
- фракция IV	0,70	11,63	14,60	1,17
- фракция V	32,69	28,47	17,90	0,12

Из данных, представленных в таблице 1, видно, что степень помола, которая характеризует водоудерживающую способность бумажной массы, у древесной массы (ТММ, ХТММ) в 4 раза выше, чем у лиственной и хвойной целлюлозы. Это, в первую очередь, связано с технологическими особенностями получения таких волокнистых полуфабрикатов.

Фракционный состав $СФ_{А_{хв}}$ представлен, в основном, длинно-волокнистой составляющей (87,18%), а $СФ_{А_{л}}$ – средневолокнистой (24,5 и 42,9%). При этом у ХТММ преобладает средневолокнистая и мелкая фракции – 29,03 и 28,47% соответственно, а у ТММ велика доля крупной фракции и мелочи – 42 и 35% соответственно. На основании анализа свойств исследованных волокнистых полуфабрикатов можно говорить о том, что сульфатная хвойная целлюлоза выполняет роль армирующего каркаса бумажного листа, так как состоит в основном из длинных и прочных волокон. В тоже время коротковолокнистая лиственная целлюлоза, используемая в композиции бумаги для офсетной печати, отвечает за структурные свойства бумаги, повышает непрозрачность, однородность просвета.

При этом древесная масса (ТММ, ХТММ) представляет собой смесь волокон разной длины, показатель средневзвешенной длины волокна составляет 36 и 35 дг и обладает лучшими, чем целлюлоза, оптическими свойствами, но уступает по механической прочности. Поэтому древесная масса при производстве бумаги для офсетной печати может применяться только в сочетании с беленой сульфатной хвойной и лиственной целлюлозой.

Рассмотрим новый композиционный состав бумаги для офсетной печати по волокну, представляющий собой трехкомпонентную систему, которая состоит из лиственной, хвойной сульфатной целлюлозы содержащей термомеханическую или химико-термомеханическую массу. Используя симплекс-решетчатые планы Шеффе были рассчитаны оптимальные соотношения компонентов по волокну в композиции бумажной массы:

– для композиции, содержащей ТММ:

$СФ_{А_{л}}$ – 33%, $СФ_{А_{хв}}$ – 32% и ТММ – 35%;

– для композиции, содержащей ХТММ:

$СФ_{А_{л}}$ – 37%, $СФ_{А_{хв}}$ – 32% и ХТММ – 31%.

Из композиции с оптимальным содержанием ТММ, ХТММ и без содержания древесной массы ($СФ_{А_{л}}$ – 60%, $СФ_{А_{хв}}$ – 40%), была получена бумага. Сравнительная характеристика показателей качества бумаги представлена в таблице 2.

Как видно из представленных данных, компонентный состав по волокну оказывает существенное влияние на структурно-механические и оптические свойства бумаги.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика показателей качества бумаги

Наименование показателя	Значения показателей бумаги, полученной из композиции:		
	с ТММ	с ХТММ	без древесной массы
Белизна, %	64	83	77
Непрозрачность, %	95	84	81
Прочность на излом, ч.д.п.	331	250	328
Разрывная длина, км	7,13	5,10	7,54
Воздухопроницаемость, см ³ /мин	225	400	380

Использование в композиции ТММ вызвало увеличение непрозрачности бумаги, но существенно снизило ее белизну. При использовании в композиции до 30% ТММ прочность на излом при многократных перегибах и разрывная длина оказались на уровне бумаги контрольного образца (полученной без древесной массы). Воздухопроницаемость бумаги, характеризующая ее пористость и способность к впитыванию типографских красок, несколько ниже, чем у образца бумаги без древесной массы.

Использование в композиции бумажной массы ХТММ привело к увеличению непрозрачности и повышению белизны бумаги по сравнению с бумагой, полученной без древесной массы, однако понизились прочностные показатели бумаги - разрывная длина и прочность на излом при многократных перегибах. Показатель воздухопроницаемости, характеризующий структуру бумаги, у образцов, содержащих в композиции ХТММ выше, чем у образца бумаги без древесной массы на 20%. Пористая бумага обеспечит лучшие печатные свойства за счет лучшего впитывания типографских красок при офсетной печати [2].

На основании полученных данных можно говорить о возможности использования древесной массы (ТММ, ХТММ) при получении бумаги для офсетной печати. Частичная замена листовенной целлюлозы на ТММ приведет к сохранению структурно-механических свойств бумаги. Введение в состав бумажной массы ХТММ приведет к повышению оптических свойств бумаги.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Фляте, Д.М. Бумагообразующие свойства волокнистых полуфабрикатов / Д.М. Фляте.– М.: Лесная промышленность, 1990.
- 2 Пузырев, С. С. Современная технология механической массы: в 3 т. / С. С. Пузырев. – СПб.: ООО «ВЕСП», 1995-1998. – Т. 2: Механическая масса из щепы. – 1996.

И. В. Николайчик, аспирант
Н. В. Жолнерович, доц., канд. техн. наук
Н. В. Черная, зав. каф., проф., д-р техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССНЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХИМИКАТОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БУМАЖНОЙ МАССЫ ИЗ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНА

Рациональное использование процессных и функциональных химикатов обеспечивает успешное решение компромиссной задачи современного бумажного производства между ускорением обезвоживания, повышения удержания и достижения требуемого качества. Эффективность их использования во многом зависит от электрокинетических свойств и ионной потребности бумажной массы, контроль и оперативное управление которыми обеспечивает эффективное функционирование узлов бумагоделательной машины и придание требуемых функциональных свойств бумаге. Однако совместное использование процессных и функциональных химикатов зачастую приводит к снижению эффективности их действия. Результатом этого является замедление обезвоживания, недостаточное удержание компонентов бумажной массы, неравномерный просвет и как следствие нестабильность физико-механических свойств бумаги.

В этой связи разработка новых вспомогательных химических веществ, одновременно влияющих на изменение функциональных свойств бумаги и улучшающих процесс ее формования на сеточном столе бумагоделательной машины является актуальной задачей современного производства.

Практический интерес представляют карбамидоформальдегидные олигомеры. Улучшение способности к растворению и повышение эффективности взаимодействия с компонентами бумажной массы возможно путем их модификации ϵ -капролактамом. Полученный модифицированный продукт имеет слабоанионный характер и как показали результаты исследований, способствует повышению физико-механических свойств бумаги [1]. Однако следует отметить, что наряду со своим функциональным назначением – придание прочности – модифицированная карбамидоформальдегидная смола (КФС) оказывает влияние на эффективность обезвоживания водно-волокнистой суспензии и удержание ее компонентов. Следовательно, представляет интерес оценка возможности применения нового химического вспомогательного вещества как в роли вещества функционального назна-

чения для придания прочности бумаги, так и в роли процессного химиката, ускоряющего обезвоживание и повышающего удержание.

В лабораторных условиях водно-волокнистая суспензия готовилась путем последовательного роспуска и размола макулатуры марки МС-5Б до степени помола 32°ШР. Сравнительной оценке подвергались бумажные массы, содержащие в композиции:

- бинарную систему удержания и обезвоживания;
- бинарную систему удержания и обезвоживания в сочетании с функциональными химикатами для проклейки и стабилизации физико-механических свойств бумаги;
- функциональные химикаты для проклейки и модифицированную КФС.

В качестве бинарной системы удержания и обезвоживания использовали синтетический коагулянт Profix 4970 и катионный флокулянт Lycrid P48. Влияние содержания компонентов бинарной системы на изменение электрокинетических свойств бумажной масс и параметров ее обезвоживания представлено в таблице 1.

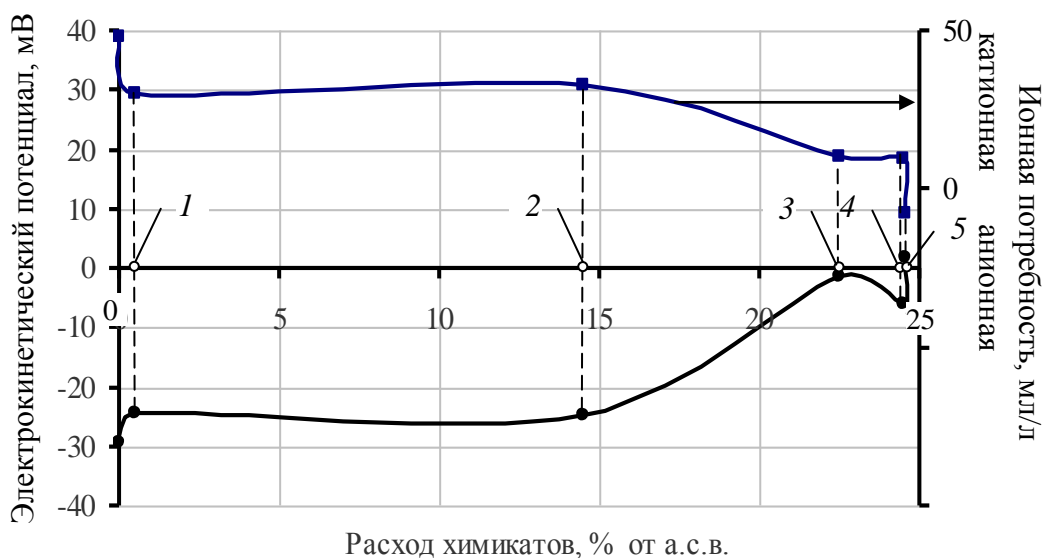
Таблица 1 – Влияние содержания компонентов бинарной системы удержания на свойства бумажной массы из вторичного волокна

Содержание Profix 4970, кг/т	Содержание Lycrid P48, кг/т	ζ – потенциал, мВ	Катионная потребность, мл/л	Способность к обезвоживанию, с	Содержание взвешенных веществ, мг/л
–	–	–33,0	45,9	29,5	57,4
0,48	–	–32,1	42,4	32,2	55,8
	0,03	–30,8	41,2	29,1	51,4
	0,05	30,2	39,6	26,2	51,4
	0,10	–29,2	40,1	25,4	33,4
	0,15	–27,7	42,2	23,5	29,2

Как видно из таблицы 1, увеличение содержания второго компонента бинарной системы катионного флокулянта Lycrid P48 от 0 до 0,15 кг/т приводит к незначительному снижению отрицательного значения электрокинетического потенциала волокон макулатуры и уменьшению катионной потребности системы в целом. Однако изoeлектрическое состояние водно-волокнистой суспензии не достигается. В то же время возрастает способность бумажной массы к обезвоживанию и снижается содержание взвешенных веществ от 57,4 до 29,2 мг/л, что обусловлено катионным характером и высокой молекулярной массой катионного флокулянта. Наилучший эффект достигается при содержании в композиции Lycrid P48 0,10 кг/т.

Для придания бумаге требуемых гидрофобных и физико-механических свойств композиция бумажной массы должна дополнительно содержать функциональные химикаты соответствующего на-

значения. Вторая композиция содержала бинарную систему удержания (согласно первой композиции), химикаты для проклейки (проклеивающее вещество катионного типа Insize G20AL в сочетании с полиоксихлоридом алюминия Mareclean 110) и стабилизации физико-механических свойств (Melapret PAE/A). Влияние указанных химикатов на изменение электрокинетических свойств бумажной массы и очередность их дозирования представлены на рисунок 1.



1 – синтетический коагулянт Profix 4970 (0,48 кг/т); 2 – катионная эмульсия Insize G20AL (14 кг/т); 3 – Melapret PAE/A (8 кг/т); 4 – Mareclean 110 (2 кг/т); 5 – катионный флокулянт Lycrid P48 (0,1 кг/т)

Рисунок 1 – Изменение электрокинетических свойств бумажной массы в зависимости от содержания в композиции процессных и функциональных химикатов

Как видно из рисунка 1 совместное использование указанных химикатов обуславливает достижение системой изоэлектрического состояния и способствует перезарядке волокон. Однако в этом случае эффективность действия бинарной системы удержания снижается, что отражается на содержании взвешенных веществ в подсеточной воде, которое составляет 50,2 мг/л.

Эффективность применения новой КФС модифицированной ϵ -капролактамом оценивали в системе проклеивающего вещества на основе димеров алкилкетенов (Hydrores 225YP) в сочетании с катионным крахмалом (Hi-Cat C323A). Полученные результаты изменения электрокинетических свойств и способности к обезвоживанию бумажной массы в зависимости от содержания в композиции модифицированной КФС представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение свойств бумажной массы в зависимости от содержания в ее композиции модифицированной КФС

Содержание крахмала Hi-Cat С323А, % от а.с.в.	Содержание АКД, % от а.с.в.	Содержание модифицированной КФС, % от а.с.в.	ζ – потенциал, мВ	Катионная потребность, мл/л	Способность к обезвоживанию, с	Содержание взвешенных веществ, мг/л
–	–	–	–16,7	77,7	60,4	97,0
0,8	–	–	–12,4	53,4	36,7	57,4
	0,16	–	–11,9	48,7	38,4	61,4
		0,5	–9,3	50,1	40,6	47,2
		1,0	–9,5	51,9	41,7	46,2
		1,5	–9,9	51,1	40,1	53,8
2,0	–9,9	47,7	42,8	48,6		

Как видно из таблицы 2 добавление модифицированной КФС вызывает незначительное снижение ζ -потенциала вторичных волокон, хотя применение вспомогательных химических веществ анионного типа в композиции с отрицательно заряженными волокнами в целом должно приводить к повышению электроотрицательности системы. Вероятно природа заряда модифицированной КФС слабее природы заряда целлюлозных волокон, что в конечном итоге и приводит к его снижению. Отрицательно заряженные макромолекулы модифицированной КФС блокируют гидроксильные группы целлюлозы, вносящие в целом больший вклад в величину ζ -потенциала. Это, в конечном счете, приводит к повышению эффективности обезвоживания бумажной массы и удержанию компонентов в структуре бумаги.

Таким образом, изучено влияние процессных и функциональных химикатов на изменение электрокинетических свойств бумажной массы из вторичного волокна, ее способность к обезвоживанию и удержания компонентов в структуре бумаги. Установлена практическая возможность использования новой модифицированной КФС в качестве процессного химиката в сочетании с химикатами функционального назначения для придания гидрофобных свойств бумаге.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николайчик, И. В. Применение новых азотсодержащих смол в производстве технических видов бумаги. / И. В. Николайчик, Н. В. Жолнерович, Н. В. Черная // Труды БГТУ. – 2013. – № 4: Химия, технология орган. в-в. и биотехнология. – С. 179–181.

Ю.В. Попивнич, магистрант
А.В. Ледницкий, доц., канд. экон. наук
(БГТУ, Минск)

ГАЗИФИКАЦИЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА КАК НАПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

По мнению ряда ученых и специалистов открытых запасов нефти и газа хватит на 15–20 лет, разработка новых месторождений, добыча горючих ископаемых и их транспортировка потребует больших капиталовложений, что скажется на стоимости энергоресурсов. Постоянный рост цен на невозобновляемые виды энергоресурсов, вступление в действие Киотского протокола и необходимость обеспечения энергобезопасности подталкивают многие страны к развитию биоэнергетики [1].

Биоэнергетика – это инновационная отрасль экономики, основанная на производстве из биомассы топлива и энергии. В результате применения термохимических- и биотехнологий по преобразованию энергии биомассы растений и возобновляемых ресурсов получают тепло, электричество, моторное биотопливо (биоэтанол, биобутанол, биодизель и прочие).

Одним из перспективных направлений развития биоэнергетики является производство газообразного биотоплива из древесины, для сжигания которого можно использовать обычные газовые котлы.

Сегодня газогенераторы успешно применяются для производства газа, служащего топливом для существующих бойлеров в ряде стран Европы (Финляндия, Бельгия, Нидерланды, Австрия и Швеция). Что касается Беларуси и России, то основное использование газогенераторов – это получение газа, его дальнейшее сжигание с целью получения тепловой энергии. Есть проекты по использованию генераторного газа в двигателях, но так как теплотворная способность полученного газа невелика, для устойчивой работы двигателя требуется дополнительная подача дизельного топлива, что сказывается на экономических показателях. Учитывая однотипность используемых газогенераторов эффективность таких установок примерно одинакова.

Газификации может быть подвергнуто любое древесное сырье – дровяная тонкомерная древесина, ветви, сучья, горбыли, срезки, опилки и т.п. При этом не исключена возможность газификации торфа, отходов сельскохозяйственных культур и других органических отходов. Газообразное топливо на выходе из реактора – чистое, в нем отсутствуют смоляные продукты. Получаемый генераторный газ может использоваться самостоятельно (даже без подготовки), для пита-

ния двигателей, дизель-генераторов при производстве электроэнергии, как теплоноситель при охлаждении его на выходе из газогенератора или как синтез-газ для получения из него других продуктов. При использовании такого газа в качестве топлива в дизель-генераторе мощностью 1000 кВт по сравнению с природным газом мощность его снижается на 26%, в то время как при использовании газа от типовых газогенераторов мощность дизель-генератора снижается на 44% [2].

Из 1 м³ древесины можно получить 1506 кВт·ч электроэнергии и около 0,8 Гкал тепла, кроме того, получается древесная зола – ценное минеральное удобрение. Стоимость сырья составляет около 6% от стоимости производимой продукции.

Создание установок по газификации древесного сырья позволит:

- частично заменить природный газ газом из древесины, существенно уменьшить стоимость производства тепла и электроэнергии;
- улучшить экологическую ситуацию в Беларуси за счет снижения количества отходов и уменьшения вредных выбросов в атмосферу;
- вовлечь в хозяйственный оборот низкокачественную древесину и древесные отходы.

На сегодняшний день в нашей стране отсутствуют комплексные технологии, направленные на газификацию древесного топлива. В этих условиях на первоначальном этапе целесообразно использовать передовой опыт зарубежных стран и энергетические установки иностранного производства. Однако при этом следует активно разрабатывать и внедрять отечественные газогенераторные установки.

ЛИТЕРАТУРА

1 Федоренчик, А. С. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов: монография / А.С. Федоренчик, А.В. Ледницкий. Минск: БГТУ, 2010.

2 Рыжов В. А., Кислицын А. Н., Рыжова Е. С., Короткий В. П. Газификация древесины – актуальное направление развития лесопромышленного комплекса России // Концепт [Электронный ресурс]. – Нижний Новгород: 2014. – Современные научные исследования. Выпуск 2. – ART 54764. – Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2014/54764.htm>.

В.Л. Колесников, проф., д-р техн. наук,
С. А. Гордейко, аспирант,
Н.В. Черная, зав. каф., проф., д-р техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ УПРОЧНЯЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БУМАГИ И КАРТОНА ИЗ МАКУЛАТУРЫ

Технологические трудности, вызванные невысокими бумагообразующими свойствами макулатурного сырья и нестабильным его фракционным составом, при производстве бумаги и картона диктуют необходимость применения вспомогательных химических веществ.

Научный и практический интерес представляют данные об эффективности упрочняющего действия разнообразных полимерных соединений (натуральных и синтетических) на бумагу и элементарные слои картона, изготовленных из макулатурного сырья.

К перспективным способам упрочнения различных видов бумаги и картона, изготовленных из макулатурного сырья, отличающихся свойствами и областью применения, относятся способы, основанные на правильном подборе вспомогательных химических веществ и научно-обоснованных технологий их применения [1].

Для изготовления опытных образцов бумаги использовали следующие химикаты: крахмал катионный модифицированный марки «HiCat»; полиамидаминэпихлоргидриновая смола «Melapret PAE/A»; полиамидаминная смола УО БГТУ; стирол-акрилатная дисперсия Acronal 290; АКД марки «Dumar VP 738»; катионный полиэлектролит «Lycrid P 48».

Образцы бумаги и элементарных слоев картона массой 80 г/м² изготавливали на листоотливном аппарате «Rapid-Ketten» (фирма «ErnstNaage», Германия) из бумажной массы, представляющей собой дисперсную систему, в которой дисперсной фазой являлись волокна и исследуемые полимеры, а дисперсионной средой – вода. Исследуемые композиции отличались видом и содержанием упрочняющей добавки.

Волокнистая суспензия имела концентрацию 4%, ее готовили путем роспуска в дезинтеграторе марки БМ-3, а затем размалывали в мельнице НДМ-3 комплекта ЛКР-1 до степени помола $38 \pm 2^\circ \text{ШР}$.

Качество полученных образцов бумаги и элементарных слоев картона определяли на горизонтальной машине TensileTester (фирма «Lorentzen&Wettre») и вертикальной машине М350-5СТ (фирма «Testometric») по ISO 1924/24, TAPPI T494 и характеризовали разру-

шающим усилием, сопротивлением при разрыве, поглощением энергии, жесткостью, влагопрочностью и гидрофобностью.

Наполнение базы данных осуществлялось включением в нее условий и результатов интуитивных и классических планов экспериментов, выполненных за период 2011–2014 гг. Для интеллектуального анализа и многокритериальной оптимизации данных была использована методика и компьютерная программа [2].

Анализируя содержание перечня стандартов для упаковочных видов бумаги, нельзя не заметить, что конечное качество продукции складывается из набора требуемых значений отдельных показателей, причем для большинства из них указаны односторонние ограничения.

Особую сложность представляет объективная оценка качества продукции по многим критериям, тем более в случаях, когда один показатель, например, прочность, нужно максимизировать, а другой показатель, например, впитываемость, нужно минимизировать[3].

Определенные трудности возникают при обработке наблюдений за протеканием технологического процесса или анализа производственного эксперимента, когда условия и результаты могут изменяться одновременно.

На рисунке 1 представлен интерфейс программы FUZZY, которая реализует алгоритм 1–6.

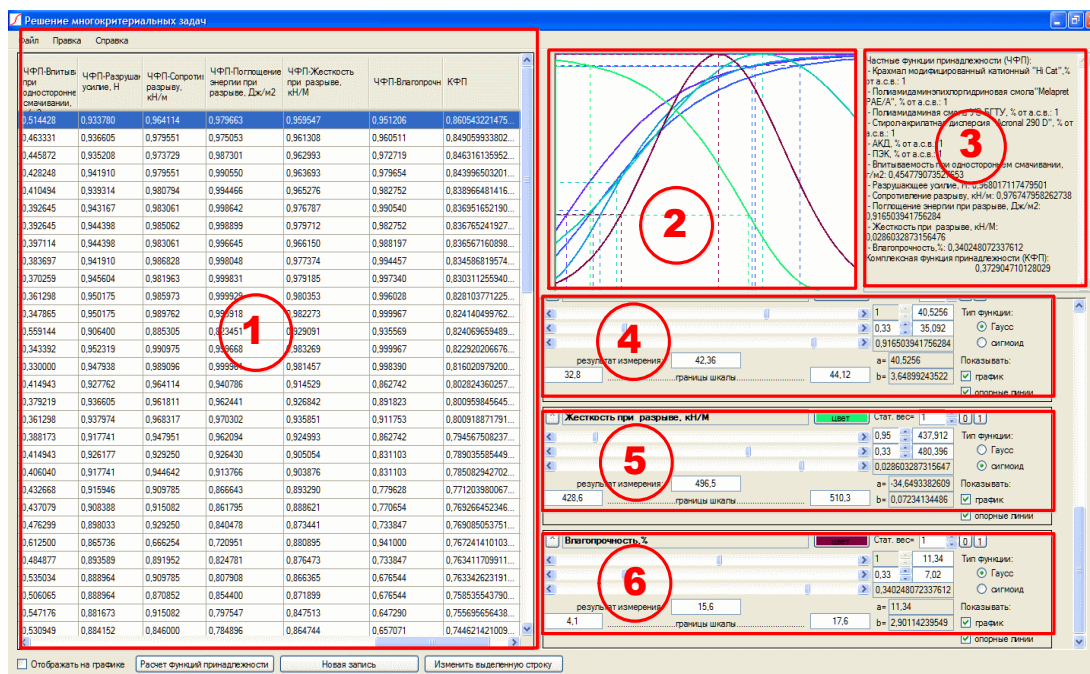


Рисунок 1 - Интерфейс программы FUZZY

Работа с программой заключается в определении и фиксации координат двух точек на выбранных кривых в диалоговых окнах 4, 5,

б, характеризующих минимальные и максимальные требования к качеству оцениваемого параметра, а также для преобразования натуральных значений шкалы в единицы функции принадлежности. Здесь же указывается важность (значимость) соответствующего показателя качества бумаги.

Многокритериальная оптимизация производилась путем максимизации построчных значений комплексной функции принадлежности по всем признакам. Результат выведен в правом столбце таблицы расчетов, выведенных программой в окне 1 рисунок 1.

Ранжирование и перенумерация строк по убывающей последовательности определяет оптимальные условия получения рассматриваемого вида бумаги из макулатуры (таблица 1).

Таблица 1 - Оптимальные условия получения различных видов бумаги из макулатуры

Вид упаковочной бумаги	Вид и расход упрочняющей добавки, % от а.с.в.					Клей АКД, % от а.с.в.	Катионный полиэлектролит, % от а.с.в.
	крахмал катионный модифицированный	полиамидминэпихлоргидриновая смола	полиамидминэпихлоргидриновая смола	УОБТУ	стирол-акрилатная дисперсия		
Мешочная	–	–	–	–	0,15	0,11	0,05
Упаковочная	–	0,48	–	–	0,15	0,11	0,05
Основа для гофрирования	–	0,54	–	–	0,3	0,11	0,05
Бумага для внутренних слоев гофрированного картона	–	0,48	–	–	0,18	0,11	0,05

Так для мешочной бумаги (ТУ ВУ 300007961.012-2006), для которой помимо прочности в сухом состоянии важно прочность во влажном состоянии, максимальное значение обобщенной функции полезности (ОФП) составляет 0,86. Это значение достигается при использовании в бумажной композиции в качестве упрочняющей добавки стирол-акрилатной дисперсии с содержанием 0,15% от а. с. в.

Максимальное значение ОФП для оберточной бумаги (ГОСТ 8273) составило 0,81 при использовании в качестве упрочняющей добавки полиамидминэпихлоргидриновой смолы «Melapret PAE/A» с содержанием 0,48% от а.с.в. и стирол-акрилатной дисперсии с содержанием в массе 0,15% от а.с.в.

Расчетное значение ОФП для бумаги для внутренних слоев гофрированного картона (ТУ РБ 00280212.016-99) составило 0,88 при ис-

пользовании в композиции полиамидаминэпихлоргидриновой смолы «Melapret PAE/A» с максимальным содержанием в массе 0,54% от а. с. в., а ОФП=0,87 достигается при использовании стирол-акрилатной дисперсии с содержанием 0,3% от а. с. в.

Расчетное значение ОФП для бумаги для гофрирования (ГОСТ 7377) составило 0,76 при использовании в композиции полиамидаминэпихлоргидриновой смолы «Melapret PAE/A» с содержанием 0,48% от а. с. в., а ОФП=0,69 достигается при использовании стирол-акрилатной дисперсии с содержанием в массе 0,18% от а. с. в.

Как видно из таблицы 1 лучшее упрочняющее действия в результате многокритериальной оптимизации оказывают стирол-акрилатная дисперсия и полиамидаминэпихлоргидриновая смола «Melapret PAE/A». Но с учетом чрезвычайно высокого содержания в массе последнего (0,48–0,54% от а. с. в.) выбор по физико-механическим и гидрофобным параметрам остается за стирол-акрилатной дисперсией.

Таким образом, показана целесообразность замены традиционно используемого упрочняющего вещества (модифицированного крахмала с содержанием в массе 0,54% от а. с. в.) на синтетические соединения (стирол-акрилатную дисперсию), которые при минимальных расходах (0,15–0,3% от а. с. в.) обеспечивают конкретному виду продукции заданные показатели качества.

ЛИТЕРАТУРА

1 Колесников, В.Л., Бумага и картон из волокнисто-полимерных композиций / В.Л. Колесников. Мн.: БГТУ, 2004.

2 Колесников, В.Л., Жарский, И.М., Урбанович, П.П. Компьютерное моделирование и оптимизация химико-технологических систем. учеб. пособие для студентов вузов / В.Л. Колесников, И. М. Жарский, П.П. Урбанович. Мн.: БГТУ, 2004.

3 Колесников, В.Л., Системный анализ производственных процессов в полиграфии : учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Информационные системы и технологии (издательско-полиграфический комплекс)» / В.Л. Колесников. Мн.: БГТУ, 2011.

В.Л. Флейшер, доц., канд. техн. наук
А.В. Гермась, аспирант
(БГТУ, Минск)

АМИДЫ СМОЛЯНЫХ КИСЛОТ КАНИФОЛИ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БУМАГИ

Цель работы – разработать методику и условия синтеза нового азотсодержащего полимера на основе амидов смоляных кислот и продукта поликонденсации полиамина с адипиновой кислотой, применение которого позволит компенсировать потерю прочности бумаги и картона при изготовлении их на основе вторичного волокнистого сырья.

Высокомолекулярные соединения для упрочнения бумаги и картона должны иметь относительно высокую молекулярную массу, содержать амидо- и аминокгруппы, способные образовывать водородную связь с гидроксильными группами макромолекул целлюлозы, а также обладать хорошей растворимостью в воде.

На основании этого нами была разработана методика синтеза новых азотсодержащих полимеров на основе амидов смоляных кислот. В качестве сырья для получения нового азотсодержащего полимера применяли смоляные кислоты (абиетиновую, дегидроабиетиновую кислоты или их смесь – живичную и талловую канифоли), полиамин (диэтилентриамин (ДЭТА), триэтилентетрамин (ТЭТА)), адипиновую кислоту. Синтез нового азотсодержащего полимера осуществляли в 2 стадии.

Стадия 1. В трехгорлую колбу объемом 250 см³, снабженную перемешивающим устройством, термометром и ловушкой Дина – Старка, помещали навеску смоляных кислот и приливали 1/3 часть от необходимого для синтеза количества полиамина при мольном соотношении полиамин : смоляная кислота, равном 1,0 : (0,05–0,15). Затем при постоянном перемешивании нагревали реакционную смесь до температуры 170–190°C. Смесь выдерживали при постоянном перемешивании до кислотного числа 20–30 мг КОН/г.

Стадия 2. К полученному амиду смоляной кислоты, полученному на 1 стадии, добавляли оставшееся количество полиамина и эквивалентное количество адипиновой кислоты, обеспечивающей образование конечного продукта высокомолекулярной, водорастворимой полиамидной смолы, обладающей улучшенными упрочняющим и гидрофобными действиями. Продолжительность второй стадии конденсации составляло около 2,0 ч при температуре 160–200°C.

Синтез осуществляли при постоянном перемешивании при температуре 210°C, определяя через каждые 0,5 ч кислотное число реак-

ционной массы. После достижения кислотного числа 20 ± 5 мг КОН/г температуру реакционной массы снижали до 85–95°C и добавляли расчетное количество воды, подогретой до температуры 90°C.

По данной методике был получен ряд азотсодержащих полимеров, условия синтеза которых приведены в табл. 1. Синтезированные азотсодержащие полимеры представляли собой вещества светлорыжевато-коричневого цвета, неограниченно смешивающиеся с водой.

Таблица 1 – Условия получения азотсодержащих полимеров на основе амидов смоляных кислот

Номер образца полимера	Соотношение реагентов, моль			Вид полиами-на	Вид смоля-ной ки-слоты	Продолжи-тельность реакции, ч		Температура реакции, °С	
	поли-амин	адипино-вая кисло-та	смоляная кислота			1 ста-дия	2 ста-дия	1 ста-дия	2 ста-дия
1	1,0	1,0	0,10	ДЭТА	АК	2,0	2,0	180	190
2	1,0	1,0	0,10	ДЭТА	ДАК	2,0	2,0	180	190
3	1,0	1,0	0,10	ДЭТА	ЖК	2,0	2,0	180	160
4	1,0	0,95	0,12	ТЭТА	АК	2,0	2,0	190	170
5	1,0	0,90	0,05	ДЭТА	ЖК	2,0	2,0	190	200
6	1,0	1,1	0,15	ТЭТА	ЖК	2,0	2,0	170	200
7	1,0	1,0	0,10	ТЭТА	ТК	1,5	2,0	170	190
8	1,0	1,0	0,10	ДЭТА	ТК	2,5	2,0	190	180

Примечание: ДЭТА – диэтилентриамин, ТЭТА – триэтилентетрамин, АК – абие-тиновая кислота, ДАК – дегидроабиетиновая кислота, ЖК – живичная канифоль, ТК – талловая канифоль.

Можно предположить, что имеющееся в составе азотсодержащего полимера большое количество реакционноспособных амидо- и аминогрупп будет способствовать связеобразованию волокно-к-волокну, за счет образования дополнительных водородных связей между амидными группами полимера и гидроксильными группами макромолекул целлюлозных волокон, а присутствие остатков смоляных кислот – гидрофобизации бумажного полотна.

Образцы бумаги и элементарных слоев картона получали на листоотливном аппарате Rapid-Ketten (фирма Ernst Naage, Германия).

Подготовку волокнистой суспензии осуществляли следующим образом. Готовили 1%-ную волокнистую суспензию путем роспуска и размола модельной целлюлозы. Роспуск целлюлозы осуществляли в дезинтеграторе марки БМ-3, куда последовательно помещали 1500 см³ воды и 22 г абсолютно сухого вещества (а. с. в.). Продолжительность процесса роспуска составляла 7–8 мин. После этого распущенную

массу переносили в ванну лабораторного ролла, в которой производили ее размол до степени помола 30–40°ШР. После завершения процесса размола отбирали пробу волокнистой суспензии для изготовления образцов бумаги и элементарных слоев картона массой 80 г/м².

Упрочняющее действие разработанного азотсодержащего полимера сравнивали с действием импортной функциональной добавкой Melapret PAE/A, представляющей собой полиамидамин эпихлоргидриновой смолы и широко применяемым на бумажных и картонных предприятиях Республики Беларусь и за рубежом. Для этого у опытных образцов и образцов сравнения определяли разрывную длину, степень проклейки по штриховому методу и влагопрочность. Свойства азотсодержащего полимера и образцов бумаги представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Свойства азотсодержащих полимеров и образцов бумаги

Номер образца полимера	Свойства полимеров		Свойства образцов бумаги		
	условная вязкость, с	расход полиамидной смолы, %	разрывная длина, м	степень проклейки по штриховому методу, мм	влагопрочность, %
1	70	0,2	5050	2,2	8,4
2	60	0,2	4850	2,4	7,2
3	100	0,2	4900	2,2	6,1
4	43	0,2	4800	2,2	5,5
5	65	0,2	4700	2,2	5,0
6	110	0,2	4750	2,2	5,8
7	70	0,2	4900	2,4	6,5
8	75	0,2	4850	2,2	6,5
Melapret	120	0,2	4650	2,0	4,8

Из табл. 2 видно, что образцы бумаги, изготовленные с применением разработанного нами полимера на основе амидов смоляных кислот, по сравнению с импортным аналогом Melapret PAE/A, имеют более высокие показатели влагопрочности. Другие показатели качества, такие как разрывная длина и степень проклейки по штриховому методу, имеют сопоставимые значения при расходах азотсодержащего полимера 2,0% от массы а. с. в.

Заключение. Упрочняющее действие на макулатурные виды бумаги оказывает азотсодержащий полимер на основе амидов смоляных кислот. Показано, что разработанные режимы модификации смоляных кислот и поликонденсации адипиновой кислоты с полиамином позволяют получить полимер с кислотным числом 20–30 мг КОН/г, неограниченно смешиваемый с водой. Полученный полимер по своим физико-химическим свойствам и упрочняющему действию не уступает лучшему импортному аналогу Melapret PAE/A.

В.В. Горовая, магистрант
А.В. Ледницкий, доц., канд. экон. наук
(БГТУ, Минск)

РАЗВИТИЕ СОРТИМЕНТНОЙ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ В РБ

Лес – один из важнейших природных ресурсов Республики Беларусь. За последние 60 лет лесистость республики увеличилась почти вдвое и в настоящее время продолжает расти. Лесной фонд Беларуси насчитывает около 9,5 млн. га, лесистость территории 39,3%. Запас древесины на корню оценивается в 1,7 млрд. кубических метров. Ежегодный прирост составляет более 31,9 млн. кубометров древесины.

Ежегодно увеличивается расчетная лесосека по рубкам главного пользования лесом (научно обоснованная норма изъятия ресурсов спелой древесины). На 2010 год она была утверждена в размере 7,6 млн. м³, на 2011 год – 8,3млн. м³, на 2012 год – 8,7млн. м³, на 2013 год – 9,3млн. м³, на 2014 год – 11млн. м³, на 2015 год – 11,3млн. м³.

Древесина с лесосеки может вывозиться сортиментами, хлыстами, деревьями, в виде технологической щепы и частями деревьев, что характеризует пять типов технологических процессов лесосечных работ.

На рубках главного пользования в Республике Беларусь применяются технологические процессы двух типов. Технологическим процессом первого типа предусматривается заготовка на лесосеке сортиментов и погрузка их на лесовозный транспорт. По технологическому процессу второго типа на лесосеке заготавливаются хлысты, которые затем грузятся на лесовозный транспорт и доставляются на нижний склад [1].

Машинизированная система для заготовки древесины с использованием сортиментного метода и однозахватного харвестера стала широко использоваться лесной промышленностью в лесах умеренной и бореальной зон, особенно в северных странах. Сегодня, почти 100% лесозаготовок в Швеции и Финляндии выполняются с использованием системы харвестер-форвардер.

Доля сортиментной заготовки быстро увеличивалась в последнее время. В некоторых регионах России, например, в Карелии и Ленинградской области, уже сейчас более 70% рубок осуществляется с применением системы харвестер-форвардер.

В Республике Беларусь в 2013 году объем заготовки древесины харвестерами в отрасли составил 3579 тыс. куб. м или 32,7% от общего объема заготовки древесины по всем видам рубок в 2013 году, что

составляет 161% объема заготовки харвестерами в 2012 году. Рост популярности метода заготовки древесины в виде сортиментов на территории Республики Беларусь обусловлен проводимой механизацией лесозаготовительных работ, позволяющей повысить производительность в 8 раз. К 2015 году планируется 70% всей деловой древесины заготавливать харвестерами. Обеспеченность техникой организаций Министерства лесного хозяйства для заготовки древесины в виде сортиментов в 2013 и 2014 годах представлена в таблице.

Таблица – Обеспеченность техникой организаций Министерства лесного хозяйства для заготовки древесины в виде сортиментов в 2013 и 2014 годах

Вид техники	На начало 2013 года	На начало 2014 года	Абсолютное отклонение, шт.	Относительное отклонение, %
Харвестер, шт.	140	170	30	21,4
Форвардер, шт.	182	236	54	29,7
Сортиментовоз, шт.	470	562	92	19,6
Погрузочно-транспортные машины, шт.	1043	1126	83	8,0

Согласно данным представленным в таблице, на лесозаготовках погрузочно-транспортные машины являются наиболее многочисленным видом техники. Наибольшие темпы роста прослеживаются по таким видам техники, как харвестер и форвардер, их рост за 2013 год составил 21,4% или 30 шт. и 29,7% или 54 шт. соответственно.

При выполнении механизированных рубок главного пользования на территории Республики Беларусь наибольшую популярность получили харвестер Амкодор 2551, линейка форвардеров грузоподъемностью от 12 до 15 т: Амкодор 2661-01, Амкодор 2662-01 и Амкодор 2682-01, трелевочные машины для заготовки по хлыстовой технологии Амкодор 2243В и Амкодор 2243 (с манипулятором).

Харвестер Амкодор 2551с колесной формулой 6х6 предназначен для сплошных рубок и может заготавливать до 260 м³ лесоматериалов в смену при расходе топлива 0,9–1,2 л/м³. Харвестер Амкодор 2541с колесной формулой 4х4 – более компактная и маневренная модель, предназначенная для рубок ухода за лесом и выборочных рубок. Машина оснащена электронасосами для заправки топливом и маслом. Для вывоза сортиментов чаще всего используется форвардер Амкодор 2661-01 грузоподъемностью 12 т способный за один рейс перевезти 6-метровые сортименты объемом до 18 м³.

Колесные машины для сортиментной заготовки древесины, получившие в республике в последнее время широкое распространение, превосходят гусеничные аналоги по маневренности и скорости хода.

Кроме того, в отличие от гусеничной техники, они не нарушают лесной покров при разворотах и не нуждаются в тралах для перемещения на короткие расстояния [2].

ЛИТЕРАТУРА

1 Матвейко, А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства: учебник / А.П.Матвейко. Мн.: Техноперспектива, 2006.

2 Лесозаготовительная техника «Амкадор» // Концепт [Электронный ресурс]. – 2014. – Журнал «ЛесПромИнформ». №7 (105). – Режим доступа: <http://www.lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/3854>.

УДК 674. 093

С.И. Шпак, доц., канд.техн.наук
А.И. Скроцкий, ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ПРИМЕНЕНИЕМ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ КЛЕЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ

Современные условия рыночной экономики ставят деревообрабатывающие предприятия к непрерывному совершенствованию технологического процесса получения древесных плитных материалов.

Одним из эффективных и относительно дешевых способов совершенствования технологического процесса склеивания является разработка новых клеевых композиции, при использовании которых достигается ресурсосбережение и повышается качество продукции. Этого можно достичь путем использования наполнителей различной природы в составе клеевой композиции.

На основании анализа научной литературы для улучшения потребительских свойств клеевой композиции был выбран кремнийорганический наполнитель с различной массовой дозировкой [1].

Данный наполнитель является достаточно однородным по составу и чистым: содержание основного компонента – диоксида кремния – составляет 80–90%. Остальные компоненты, такие как оксид алюминия, оксид железа, кальция и другие, составляют в сумме не более 20%. Также стоит отметить, что частицы наполнителя имеют размерность от нескольких микрон, а поры – от нескольких нанометров до 100 нанометров. Такие характеристики и позволяют считать этот материал наноструктурированным. Стоит отметить, что исследуемый

наполнитель будет являться хорошим адсорбентом для таких веществ, как, например, формальдегид [2].

Применение кремнийорганического наполнителя также должно повысить гидрофобные свойства древесных плитных материалов, полученных на его основе. Это можно объяснить взаимодействием кремнийорганического продукта с углеводными компонентами древесины с образованием водородных связей между силанольными группами и ОН-группами полисахаридов, а также образованием связей Si–O–C за счет дегидратации поверхности наполнителя, поскольку кремнеземистые материалы практически всегда гидратированы [3].

Для установления влияния наполнителя на параметры клеевой композиции были определены ее физико-химические параметры в зависимости от массовой дозировки наполнителя.

Все клеевые композиции были приготовлены на основе смолы КФ-НФП которая соответствует ТУ ВУ 100135477.449-2006 и предназначена для склеивания шпона в фанеру, а также для производства древесностружечных плит.

В состав клеевой композиции входили смола КФ-НФП, отвердитель (сульфат аммония) и кремнийорганический наполнитель в дозировке от 1 до 6 мас. частей.

К физико-химическим параметрам, которые оказывают непосредственное влияние на технологический процесс можно отнести: вязкость клеевой композиции, уровень рН, время желатинизации при 100°C [4].

Рассмотрим влияние количества наполнителя в составе клеевой композиции на вязкость.

Для определения вязкости использовался вискозиметр ВЗ-4, при помощи которого определялась условная вязкость клеевых композиций при 20°C по ГОСТ 8920-74.

Следует отметить, что условная вязкость исходной композиции, чаще всего встречающейся в технологическом процессе предприятий, включает в свой состав каолин в количестве 10 масс. ч. Составляет 214 с по ВЗ-4, что соответствует требованиям технологического процесса в 200 с по ВЗ-4.

Графически зависимость вязкости от количества наполнителя в составе клеевой композиции представлена на рисунке 1.

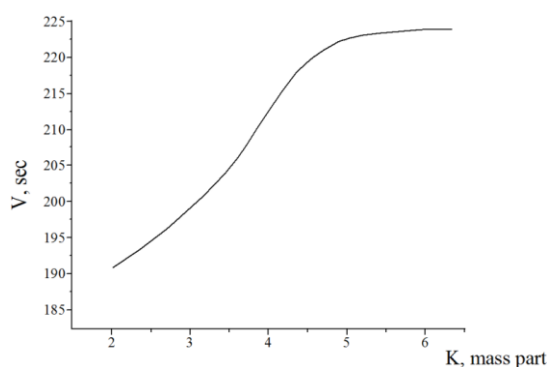


Рисунок 1 – Зависимость вязкости от количества наполнителя

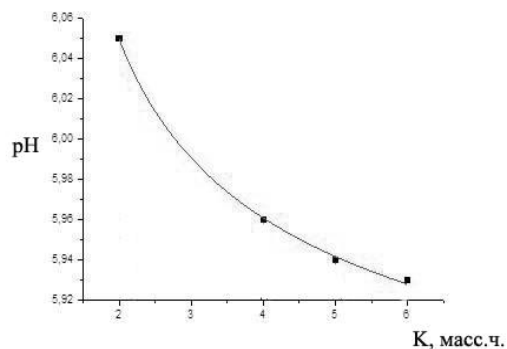


Рисунок 2 – Зависимость уровня pH от количества наполнителя, входящего в состав клеевой композиции.

Зависимость вязкости от количества наполнителя в составе клеевой композиции теоретически интерполируется полиномиальным уравнением третьей степени:

$$V(K) = -5.3875 \cdot x^3 + 58.6625 \cdot x^2 + 190 \cdot x + 379.8 \quad (1)$$

Также исследовалась зависимость уровня pH от количества наполнителя вводимого в состав клеевой композиции.

Для определения показателя pH использовался pH-метр милливольтметр pH-150M.

Графическая зависимость уровня pH от количества наполнителя в составе клеевой композиции представлена на рисунке 2.

Зависимость уровня pH от количества наполнителя в составе клеевой композиции теоретически интерполируется логарифмическим уравнением:

$$pH(K) = -0.128 \cdot \ln(x) + 6.0399 \quad (2)$$

Исследованиями установлено, что кислотность среды положительно влияет на процесс отверждения клеевой композиции.

Однако самым важным параметром среди остальных физико-химических показателей будет время желатинизации при 100°C, т.к. оно характеризует длительность процесса отверждения, что безусловно напрямую влияет на производительность прессового оборудования. Однако время желатинизации нельзя рассматривать отдельно от остальных параметров. Возьмем, к примеру, вязкость: при низкой вязкости будет замедлен процесс осмоления детали, что в конечном итоге ведет к нарушению ритмичности работы оборудования и, соответственно, к снижению производительности.

Теперь рассмотрим зависимость времени желатинизации при 100°C от количества наполнителя, входящего в состав клеевой композиции (рисунок 3).

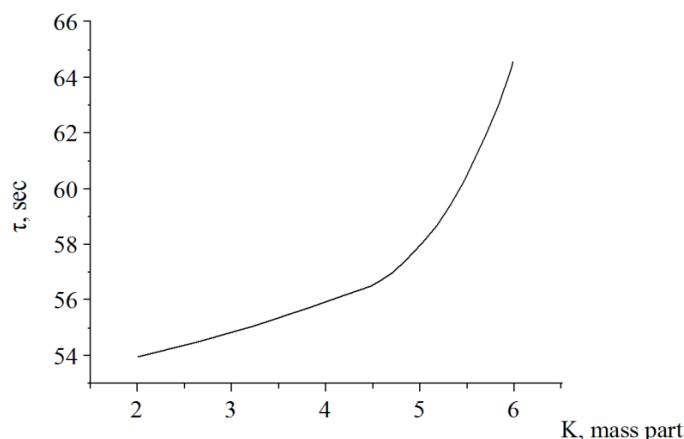


Рисунок 3 – Зависимость времени желатинизации при 100°С от количества наполнителя, полученная градиентным методом.

Зависимость времени желатинизации при 100°С от количества наполнителя в составе клеевой композиции теоретически интерполируется полиномиальным уравнением третьей степени:

$$\tau(K) = 0,47917 \cdot x^3 - 4,9375 \cdot x^2 + 17,20833 \cdot x + 33,5 \quad (3)$$

Традиционно в качестве наполнителя используется каолин. При его использовании количестве 6 масс. частей время желатинизации при 100°С составляет 73 секунды. Как видно из рисунка 3 применение кремний органического наполнителя снижает время желатинизации при 100°С на 12% по сравнению с каолином, а значит, повышает производительность оборудования и снижает себестоимость выпускаемой продукции.

Таким образом, исследуемый наполнитель улучшает физико-химические показатели клеевой композиции на основе карбамидо-формальдегидной смолы НФП, что подтверждает его перспективность для применения в производственном процессе.

ЛИТЕРАТУРА

1 Долгов, О.Н. Кремнийорганические жидкие каучуки и материалы на их основе / О.Н. Долгов, М.Г. Воронков, М.П. Гримблат. – Л.: Химия, 1975. – 111 с.

2 Кондратьев, В.П. Синтетические клеи для древесных материалов: научное издание/ В.П. Кондратьев, В.И. Кондращенко. – М.: Научный мир, 2004. – 520 с.

3 Smith L., Cote W. – Wood a. Fiber, 1971, vol. 3, N 1, p. 56–61.

4 Чубинский, А. Н. Совершенствование технологии склеивания фанеры / А.Н. Чубинский, Г.С. Варанкина, К.Г Брутян // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2007. – Вып. 179. – С. 167–175.

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИЭ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ И ЗА РУБЕЖОМ

Учитывая постоянный рост тарифов на тепловую и электрическую энергию, снижение запасов нефти и природного газа, возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – могут сыграть существенную роль в решении энергетических проблем государства.

Причины, по которым развитые страны активно занимаются использованием ВИЭ:

- обеспечение энергетической безопасности;
- защита окружающей среды;
- завоевание мировых рынков, особенно в развивающихся странах;
- сохранение запасов собственных энергоресурсов для будущих поколений;
- увеличение потребления сырья для неэнергетического использования топлива.

Главной причиной распространения ВИЭ является снижение нагрузки на окружающую среду. Однако на сегодняшний день нетрадиционная энергетика по ряду причин не является экономически привлекательной, прежде всего ввиду ограниченной рентабельности, высокой начальной капиталоемкости проектов и продолжительного срока возврата инвестиций, подверженного рыночным и валютным рискам.

В ведущих странах мира основные инвестиции направляются именно в «зеленую энергетику» с целью ее переоснащения, модернизации и достижения качественно нового уровня. Необходимость инновационного совершенствования осознается также и во всех странах-импортерах энергоносителей, которые активно помогают развитию альтернативной энергетики, чтобы уменьшить издержки от импорта дорогих углеводородов.

Многие страны мира активно используют имеющийся потенциал возобновляемых источников энергии. Например, Китай в настоящий момент является лидером в области солнечных тепловых установок. Во Вьетнаме особое развитие получают установки с использованием гидравлической энергии воды, а также есть значительный потенциал по использованию установок, работающих на биомассе животного, растительного и бытового происхождения. Основные проекты в области гидроэнергетики в перспективе будут сконцентрированы

в Китае, Вьетнаме, Индии и Южной Америки. В Германии особое распространение получили ветроустановки и установки с использованием энергии солнца. В 2013 году в Германии были построены 1200 новых ветровых установок общей мощностью 3000 мегаватт. К 2030 году Германия планирует увеличить объемы энергии, получаемой из возобновляемых источников, до 50%. В настоящее время в Германии получают 23% энергии из альтернативных источников.

Новый импульс получила альтернативная энергетика и в странах СНГ. По оценкам экспертов только 5% в энергобалансе стран составляют ВИЭ, в том числе 85% из них – использование биомассы и развитие гидроэнергетики. В России доля возобновляемых источников в общем объеме производства энергии оценивается в 0,9%, выработке тепла – около 4%. Технический потенциал ВИЭ (за исключением крупных рек) составляет 24 млрд. т у.т. в год, что более чем в 20 раз превышает потребление первичной энергии в стране. На ее территории сосредоточено около 22% всех лесных ресурсов планеты, что позволяет о высоком потенциале вовлечения в баланс древесной биомассы. Так же в России имеются огромные геотермальные запасы. К примеру, ученые рассчитали, что ресурсов вблизи Камчатского полуострова достаточно для его полноценного снабжения электроэнергией и теплом в течение более 100 лет.

В Казахстане доля ВИЭ в общем объеме вырабатываемой энергии составляет не более 0,4%, из них 90% обеспечивает малые ГЭС. Низкий уровень развития возобновляемой энергетике связан в первую очередь с наличием в стране собственных ископаемых ресурсов. По оценкам экспертов, в краткосрочной перспективе одним из наиболее рентабельных возобновляемых источников могут стать малые ГЭС без вододерживающих плотин. Наиболее значимым из всех ВИЭ считается ветер: его технически возможный потенциал оценивается в 1,8 трлн. кВт-ч в год, что в 1,4 раза превышает возможность выработки электроэнергии на основе всех видов органического топлива.

В Азербайджане сегодня растет интерес к ветроэнергетике: разработана тарифная модель, которая призвана стимулировать инвестиционную активность – в планах строительство ветропарка мощностью 105 МВт.

В энергетическом балансе Беларуси 61,1% составляет природный газ, импортируемый из России, при этом 95% электроэнергии производится из газа. Собственных месторождений природного газа в Беларуси нет, поэтому остро стоит проблема использования нетрадиционной энергетике. Без использования альтернативных источников

энергии и местных видов топлива добиться значительной экономии светлых нефтепродуктов будет трудно.

Согласно «Стратегии развития энергетического потенциала Республики Беларусь» к 2015 году снижение энергоемкости ВВП к уровню 2005 года должно составить не менее 50% (к 2020 году – 60%), при этом достижение поставленной цели должно быть обеспечено за счет увеличения в топливном балансе республики доли местных ТЭР, вторичных энергоресурсов, ВИЭ.

В секторе возобновляемой энергетики предусмотрено использование следующих видов энергоресурсов:

- биомассы (дрова, отходы древесины, быстрорастущая древесина, отходы растениеводства, в том числе путем производства жидкого и газообразного биотоплива);

- энергии воды (ГЭС различной мощности);

- энергии ветра (на территории республики выявлено 1840 площадок для размещения ветроустановок с теоретически возможным энергетическим потенциалом более 1600 МВт);

- энергии солнца (с учетом климатических условий основными направлениями использования данного ресурса станут гелиоводонагреватели и различные гелиоустановки для интенсификации процессов сушки и подогрева воды в сельскохозяйственном производстве и других бытовых целей; энергетический потенциал использования солнечной энергии оценивается в 10 тыс. тонн у.т. в год;

- энергии коммунальных отходов (потенциальная энергия равноценна 470 тонн у.т. в год);

- геотермальной энергии.

При этом основной упор в стране делается на биоэнергетику. Так, энергетический потенциал отходов растениеводства составляет 17 млрд. кВт·ч в год, отходов лесной промышленности – 36 млрд. кВт·ч в год, муниципальных отходов – 5,5 млрд. кВт·ч в год. Отходы животноводства позволяют произвести до 1,9 млрд. кВт·ч в год биогаза. В республике введено в эксплуатацию 39 биогазовых установок общей мощностью 40,4 МВт.

В Беларуси сейчас идет активное развитие нормативно-правовой базы, без которой говорить о прорыве в области «зеленых» технологий просто невозможно. В декабре 2010 года принят закон "О возобновляемых источниках энергии". Разработана и принята Национальная программа «Развитие местных, возобновляемых и нетрадиционных энергоисточников на 2011–2015 годы», а также другие специализированные программы в сфере повышения энергоэффективности и развития использования собственных энергоресурсов. Поставлена

стратегическая задача довести долю собственных энергоресурсов в структуре энергопотребления до 28% в 2015 году и 32% в 2020 г.

Одной из причин сдерживающей развитие нетрадиционной энергетики является высокая стоимость производства энергии. По данным немецких источников цены на электроэнергию из ВИЭ были значительно выше, чем из традиционных источников. Для возмещения затрат, связанных с производством электроэнергии из ВИЭ используют зеленые (стимулирующие или льготные) тарифы или зеленые (торгуемые) сертификаты.

"Зеленые" сертификаты подтверждают, что производители произвели и продали на рынке определенный объем возобновляемой (или "зеленой") энергии. Формируют такие сертификаты специальные органы, получившие название "выпускающие". Количество выпускаемых сертификатов привязано к объему произведенной генераторами энергии. Обычно сертификаты кратны 1 МВт.ч. [3]

Для Республики Беларусь целесообразно разработка стимулирующего тарифа, который должен быть равен нормированной стоимости производства (€ цент/кВтч), который остается неизменным на весь период стимулирования. Он включает капитальные и операционные затраты. Расчет капитальных затрат основан на расчете чистой приведенной стоимости.

Как показывает опыт, в большинстве стран Европы используют стимулирующие тарифы, однако некоторые страны используют зеленые сертификаты. В последнее время все больше используют комбинированные или адаптированные тарифы для того чтобы снизить затраты при производстве энергии из ВИЭ и уменьшить государственную поддержку.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.minenergo.gov.by/>
2. Конищев, В.С. Потенциал нетрадиционных ресурсов углеродородного газа/РУП Белорусский научно-исследовательский геолого-разведочный институт: Природные ресурсы № 1, 2013
3. <http://www.e-m.ru/er/2007-02/23131/>

**ДЕНСИТОМЕТРИЯ ОТТИСКОВ ОФСЕТНОЙ ПЕЧАТИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОРМУЛЫ ЮЛА – НИЛЬСЕНА**

Введение. Серьезное внимание, уделяемое в настоящее время в издательско-полиграфическом комплексе страны ресурсосбережению, выражается во внедрении в отрасли систем управления качеством и сертификации полиграфического производства. Это вызвано как повышением требований к качеству печатной продукции, так и усилением конкуренции среди субъектов рынка полиграфических услуг.

Несмотря на назревшую необходимость перехода к колориметрической оценке качества цветовоспроизведения многокрасочной печати, в большинстве типографий для оперативного контроля широко используется денситометрический контроль цветовоспроизведения, основанный на измерении оптических плотностей базовых цветов триадной печати. Этот оперативный и простой способ не требует больших затрат, и, бесспорно, сохранит свою важность в ближайшем будущем. Денситометрия печатных оттисков выполняется с использованием известных формул Мюррэя – Девиса

$$D^V = -\lg \left[S_{\phi} \cdot 10^{-D_{\phi}} + (1 - S_{\phi}) \cdot 10^{-D_{\pi}} \right] \quad (1)$$

и Юла – Нильсена

$$D^V = -N \cdot \lg \left[S^{\phi\phi} \cdot 10^{-\frac{D_{\phi}}{N}} + (1 - S^{\phi\phi}) \cdot 10^{-\frac{D_{\pi}}{N}} \right], \quad (2)$$

где D^V – оптическая плотность участка растрового изображения; S_{ϕ} – относительная площадь растровых точек; D_{ϕ} – оптическая плотность плашки; D_{π} – оптическая плотность подложки; $S^{\phi\phi}$ – относительная площадь растровых точек на участке фотоформы или в файле (для цифровых репросистем); N – коэффициент Юла – Нильсена [1]. При этом формула Мюррэя – Девиса имеет универсальный характер, а формула (2) применима только для оттисков.

Сложность использования формулы (2) – в необходимости знать значения коэффициента Юла – Нильсена. Целью работы является построение моделей коэффициента N для использования формулы (2) для оперативного контроля растровых оттисков офсетной печати.

Основная часть. Ценность обеих формул в том, что они позво-

ляют вычислить значения S_{ϕ} и $S^{\phi\phi}$ после измерения денситометром величин D_{π} , D_{ϕ} и D^V :

$$S_{\phi} = \frac{10^{-D_{\pi}} - 10^{-D^V}}{10^{-D_{\pi}} - 10^{-D_{\phi}}}; \quad (3)$$

$$S^{\phi\phi} = \frac{10^{-\frac{D_{\pi}}{N}} - 10^{-\frac{D^V}{N}}}{10^{-\frac{D_{\pi}}{N}} - 10^{-\frac{D_{\phi}}{N}}}. \quad (4)$$

Если измерять оптические плотности D_{ϕ} и D^V относительно подложки ($D_{\pi} = 0$), то формулы (3)–(4) упрощаются:

$$S_{\phi} = \frac{1 - 10^{-D^V}}{1 - 10^{-D_{\phi}}}; \quad S^{\phi\phi} = \frac{1 - 10^{-\frac{D^V}{N}}}{1 - 10^{-\frac{D_{\phi}}{N}}}. \quad (5)$$

Значения коэффициента Юла – Нильсена можно рассчитать из условия нормирования величин растискивания для 40% и 80% растворов полей офсетных триадных красок в соответствии с требованиями стандарта ISO 12647-2 (1996 г.). Расчет основан на численном решении уравнений, представляющих собой зависимости визуальных плотностей, определяемых по формуле Юла – Нильсена, от нормированных значений растискивания, регламентируемых стандартом, и проведен в [2].

Результаты расчета коэффициента Юла – Нильсена для триадных красок и разных типов бумаг представлены в таблице. [2].

Таблица – Значения коэффициента Юла-Нильсена

Тип бумаги	Краска	Коэффициент N для 40% растровых полей	Коэффициент N для 80% растровых полей
Глянцевая мелованная	Голубая	1,55–2,80	2,65–3,99
	Пурпурная	1,58–3,02	1,43–4,74
	Желтая	1,58–3,78	1,40–7,17
	Черная	1,67–2,48	1,52–5,53
Немелованная	Голубая	1,99–7,04	1,25–6,89
	Пурпурная	1,93–10,8	1,19–11,1
	Желтая	1,93–10,8	1,19–11,1
	Черная	2,11–3,26	1,81–4,50

Таким образом, величина коэффициента Юла – Нильсена зависит от размера растровой точки, т. е. $N=N(S)$ и формула (2) усложня-

ется:

$$D = -N(S^{\Phi\Phi}) \lg \left[S^{\Phi\Phi} \cdot 10^{-\frac{D_{\Phi}}{N(S^{\Phi\Phi})}} + (1 - S^{\Phi\Phi}) \cdot 10^{-\frac{D_{\Pi}}{N(S^{\Phi\Phi})}} \right].$$

Для денситометрического контроля оттисков с использованием формулы (4) построены регрессионные модели $N = N(S^{\Phi\Phi})$ путем аппроксимации средних значений двух последних столбцов таблицы.

Как показывает рисунок 1, более предпочтительной является квадратическая модель, чем линейная.

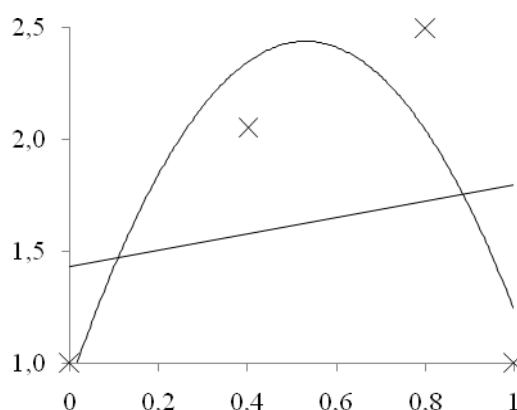


Рисунок 1 – Квадратическая и линейная модели зависимости $N = N(S^{\Phi\Phi})$

Регрессионные модели $N = N(S^{\Phi\Phi})$ построены для всех вариантов таблицы:

бумага глянцевая мелованная
голубая краска

$$N = -6,971 (S^{\Phi\Phi})^2 + 7,608 S^{\Phi\Phi} + 0,826, \quad (6)$$

пурпурная краска

$$N = -7,062 (S^{\Phi\Phi})^2 + 7,567 S^{\Phi\Phi} + 0,862, \quad (7)$$

желтая краска

$$N = -9,923 (S^{\Phi\Phi})^2 + 10,820 S^{\Phi\Phi} + 0,755, \quad (8)$$

черная краска

$$N = -6,921 (S^{\Phi\Phi})^2 + 7,671 S^{\Phi\Phi} + 0,795, \quad (9)$$

бумага немелованная
голубая краска

$$N = -15,620 (S^{\Phi\Phi})^2 + 15,920 S^{\Phi\Phi} + 0,917, \quad (10)$$

пурпурная краска

$$N = -24,470 (S^{\Phi\Phi})^2 + 25,120 S^{\Phi\Phi} + 0,822, \quad (11)$$

желтая краска

$$N = -24,470 (S^{\Phi\Phi})^2 + 25,120 S^{\Phi\Phi} + 0,822, \quad (12)$$

черная краска

$$N = -8,414 (S^{\Phi\Phi})^2 + 8,841 S^{\Phi\Phi} + 0,883. \quad (13)$$

Денситометрический контроль шкальных оттисков офсетной печати показал, что величины растискивания, определенные с использованием построенных регрессионных моделей, находятся в пределах, заданных стандартом ISO 12647-2 (1996). Это позволяет сделать вывод о применимости математических моделей коэффициента Юла – Нильсена (6)–(13) для оперативного контроля растровых оттисков триадной офсетной печати.

Заключение. Таким образом, наличие регрессионных зависимостей (6)–(13) позволяет использовать формулу Юла – Нильсена для денситометрического контроля оттисков триадной офсетной печати. Для этого необходима реализация моделей зависимости коэффициента Юла – Нильсена в виде вычислительной процедуры с последующей ее прошивкой в микропроцессоре используемого денситометра. Применение регрессионных моделей (6)–(13) позволяет использовать формулу Юла – Нильсена для эффективного оперативного денситометрического контроля цветовоспроизведения в цифровых и аналоговых реприсистемах полиграфического производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зернов, В. А. Фотографические процессы в репродукционной технике / В. А. Зернов. – М.: Книга, 1969 г. – 304 с.
2. Якаўлеў, М. К. Разлік каэфіцыента Юла – Нільсена друкарскіх папераў / М. К. Якаўлеў, Д. М. Качаноўскі // Труды БГТУ. Сер. IX. Издат. дело и полиграфия. – 2003. – Вып. XI. – С. 125–130.
3. Якаўлеў, М. К. Кіраванне якасцю ўзнаўлення ў афсетным друку / М. К. Якаўлеў // Труды БГТУ. Сер. IX. Издат. дело и полиграфия. – 2008. – Вып. XVI. – С. 19–21.

Т.О. Щербакова, аспирант
Н.В. Черная, зав. каф., проф., д-р техн. наук
Н.В. Жолнерович, доц., канд. техн. наук
С.И. Шпак, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НАПОЛНЕНИЯ БУМАГИ И КАРТОНА СИНТЕТИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

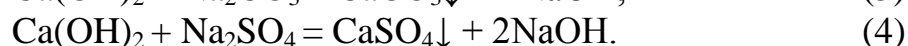
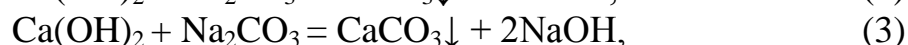
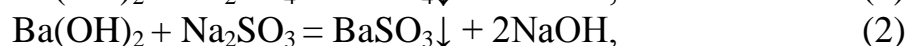
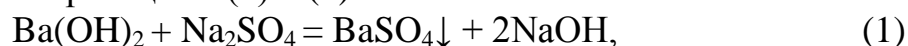
В композиции бумаги картона нашли широкое применение разнообразные природные минеральные наполнители, такие, как мел CaSO_3 , бланфикс BaSO_4 , гипс CaSO_4 и др. [1, 2]. Их использование позволяет не только заменить часть дорогостоящих первичных (целлюлозных) волокон, но и придать бумаге высокие печатные свойства. На предприятиях суспензию минерального наполнителя вводят в волокнистую суспензию, приготовление которой основано на последовательном осуществлении стадий роспуска и последующего размола, а качество бумаги и картона зависит от бумагообразующих свойств подготовленной волокнистой суспензии и технологии применения используемых наполнителей. Частицы традиционно применяемых природных наполнителей являются неоднородными и крупнодисперсными, что не позволяет им равномерно распределяться и прочно фиксироваться на поверхности волокон. Этот факт приводит к протеканию процесса наполнения в традиционном режиме гомокоагуляции, результатом чего являются невысокие значения степени удержания наполнителя в структуре бумаги и картона (не более 60%), что способствует нежелательному увеличению безвозвратных потерь частиц наполнителя со сточными водами.

Для комплексного решения указанных проблем целесообразно, на наш взгляд, заменить природный наполнитель на высокодисперсный синтетический. Его можно получать непосредственно в целлюлозной массе, последовательно вводя в нее суспензию (раствор) первого ($\text{Ba}(\text{OH})_2$ или $\text{Ca}(\text{OH})_2$) и второго (Na_2SO_4 , Na_2SO_3 или Na_2CO_3) компонентов, в результате химического взаимодействия которых образуется новое высокодисперсное соединение (BaSO_4 , BaSO_3 , CaSO_3 и CaSO_4) и гидроксид натрия, создающий слабощелочную среду, интенсифицируя стадию размола за счет ускорения набухания волокон [3]. Поэтому получение зависимостей влияния новых синтетических высокодисперсных соединений, полученных непосредственно в целлюлозной массе, на стадию размола в созданной слабощелочной среде представляет научный и практический интерес.

Цель работы – изучение бумагообразующих свойств волокнистой суспензии в условиях образования высокодисперсных соединений BaSO_4 , BaSO_3 , CaSO_3 и CaSO_4 в созданной слабощелочной среде.

Процесс диспергирования волокнистого сырья проводили в дезинтеграторе марки БМ-3 в течение 51 мин при одновременном введении 10%-ных суспензий первого компонента ($\text{Ba}(\text{OH})_2$ или $\text{Ca}(\text{OH})_2$) в количестве, обеспечивающем получение в дальнейшем целевого продукта (высокодисперсного соединения BaSO_4 , BaSO_3 , CaSO_3 и CaSO_4) с расходом 10% от а. с. в.

В полученную 1%-ную волокнистую суспензию, содержащую первый компонент, переносили из дезинтегратора в лабораторный ролл и добавляли 10%-ные растворы второго компонента (Na_2SO_3 , Na_2SO_4 или Na_2CO_3). Количество введенных компонентов для получения высокодисперсных синтетических наполнителей BaSO_4 , BaSO_3 , CaSO_3 и CaSO_4 должно соответствовать стехиометрическим соотношениям, согласно реакциям (1) – (4):



На стадии размола в лабораторном ролле осуществляли внешнее и внутреннее фибриллирование волокон, фиксируя изменение степени помола на аппарате Шоппер-Риглера СР-2 и средневзвешенной длины волокна на аппарате Иванова при увеличении времени размола до 3 до 51 мин.

Сопоставительный анализ результатов эксперимента, свидетельствует о том, что проведение стадии размола в слабощелочной среде не только сокращает продолжительность фибриллирования с 21 до 15–18 мин при достижении степени помола $37 \pm 1^\circ\text{ШР}$ с, но и способствует максимальному сохранению средневзвешенной длины волокна (0,811 мм), что на 0,174 мм выше, чем у размолотых до той же степени помола целлюлозных волокон, находящихся в исходной волокнистой суспензии. Это можно объяснить, с одной стороны, ускорением процесса набухания волокон в слабощелочной среде (рН 9,22–10,14) и, с другой стороны, сокращением продолжительности механического воздействия на волокна при их размоле и частичным предотвращением процесса их укорочения. Это способствует максимальному сохранению их первоначальной длины. Также волокна после внешнего и внутреннего фибриллирования обладают улучшенными бумагообразующими свойствами. Получено, что уменьшение продолжительности стадии

размола на 28,6%, а также способствует сокращению энергозатрат на данный процесс на 7–10%.

Из наполненной бумажной массы изготавливали образцы бумаги массой 2,51 г (80 г/м²) на листоотливном аппарате «Rapid-Ketten» (фирма «Ernst Haage», Германия). Белизну образцов определяли на спектрофотометре «Колир» (Украина) по CIED 65/10, разрывную длину – на горизонтальной разрывной машине «Tensiletester» (фирма «Lorentzen and Wettre», Швеция) по ISO 1924-2.

В композиции бумажной массы использовали катионный полиэлектролит полиэтиленимин (расходом 0,75% от а. с. в.), для увеличения степени удержания волокна и наполнителя в структуре бумаги. Присутствующие в структуре бумаги высокодисперсные соединения (BaSO₄, BaSO₃, CaSO₃ и CaSO₄) проявляют роль наполнителей, о чем свидетельствует, как видно из таблицы, повышение белизны образцов бумаги от 67,48 до 73,39%. Высокая разрывная длина образцов бумаги превышает 7480 м объясняется, на наш взгляд, максимальным сохранением первоначальной длины волокна и предотвращением их укорочения на стадии размола за счет сокращения механического воздействия.

Таблица – Продолжительность процесса размола и качество образцов бумаги в зависимости от состава бумажной массы и ее рН

Состав бумажной массы		рН бумажной массы	Продолжительность стадии размола, мин	Степень удержания наполнителя, %	Показатели качества	
Волокно	Вид соединения				Разрывная длина, м	Белизна, %
Целлюлоза сульфатная беленая из лиственных пород древесины	–	8,70	21	–	7480	67,48
	BaSO ₄	9,22	15	99,91	7835	72,62
	BaSO ₃	9,36	15	99,92	7790	71,11
	CaCO ₃	9,26	18	99,85	8670	69,28
	CaSO ₄	10,14	15	99,83	7870	73,39

Полученные высокие значения степени удержания наполнителей в структуре образцов бумаги и картона, разрывной длины и белизны свидетельствуют о протекании процесса наполнения в режиме гетероадагуляции с равномерным распределением и прочной фиксацией частиц наполнителей на поверхности волокон с одновременным протеканием процесса пенитрации [4], характеризующейся присутствием частиц наполнителей в люменах волокон.

Таким образом, при наполнении бумаги и картона синтетическими соединениями $BaSO_4$, $BaSO_3$, $CaSO_3$ и $CaSO_4$ образующийся едкий натр создает слабощелочную среду (pH 9,22–10,14), что способствует ускорению процесса набухания волокон и сокращению продолжительности стадии размола на 28,6%. Это позволяет сократить энергозатраты на процесс приготовления волокнистой суспензии на 7–10%.

ЛИТЕРАТУРА

1 Фляте, Д.М. Технология бумаги / Д.М. Фляте. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 440 с.

2 Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. / редкол.: П. Осипов (гл. ред.) [и др.]. – Санкт-Петербург: Политехника, 2002–2006. – Т. 2: Производство бумаги и картона. Ч. 2: Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит / М. Остреров [и др.]. – 2006. – 499 с.

3 Азаров, В.И. Химия древесины и синтетических полимеров / В.И. Азаров, А.В. Буров, А.В. Оболенская. – СПбЛТА, 1999. – 628 с.

4 Фролов, Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебник для вузов / Ю.Г. Фролов. – М.: Химия, 1988. – 464 с.

УДК 676.164.3:676.017.42

П. А. Чубис, канд. техн. наук, ст. преподаватель (БГТУ, г. Минск);

Е. П. Шишаков, канд. техн. наук, вед. науч. сотр. (БГТУ, г. Минск);

В.В. Коваль, магистрант (БГТУ, г. Минск)

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ МЕШОЧНОЙ БУМАГИ

Упаковка занимает особое положение в жизни современного общества. По данным Всемирной организации упаковки ее оборот в мире достигает 500 млрд. дол. в год. На упаковку в развитых странах на человека ежегодно тратится от 1000 долларов (Япония и Франция) до 1300 долларов (США и Германия). В среднем в мировой практике эта цифра составляет 165 долларов на человека. В Беларуси и России также начинают уделять большое внимание производству тары и упаковки на основе бумаги и картона. Это объясняется ростом конкуренции на рынке сбыта товаров народного потребления, а качественная упаковка продает товар, выполняя информационную, художественную и сохраняющую функции, кроме того, тара из бумаги и картона является наиболее экологически чистым современным видом упаковки. В общемировом объеме производства всех видов бумаги и картона на долю тароупаковочных видов приходится свыше 40%. В связи с тем,

что растет потребность в качественной упаковке, в том числе и бумажных мешков, то наблюдается и рост потребности в качественном сырье для производства продукции, а именно целлюлозы.

Целью исследовательской работы являлось получение сульфатной целлюлозы повышенной прочности, применение которой в процессе производства мешочной бумаги позволит заменить часть дорогостоящего целлюлозного сырья на макулатуру.

Для проведения исследований использовали следующие волокнистые полуфабрикаты и химические компоненты:

- макулатура марки МС-6Б;
- экспериментальная сульфатная хвойная небеленая целлюлоза;
- полиакрилонитрильные волокна (ПАН-волокна).

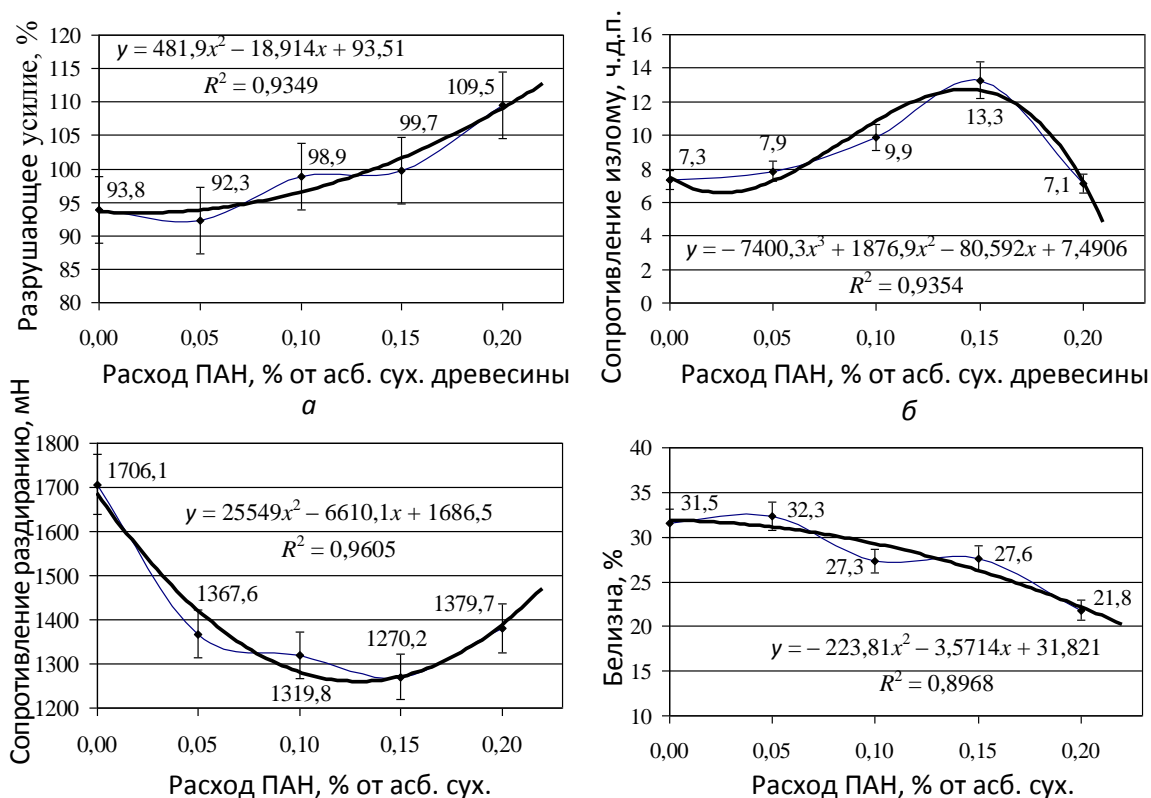
На первом этапе для достижения поставленной цели в лабораторных условиях были проведены сульфатные варки целлюлозы с добавлением ПАН-волокон. Расход ПАН-волокон изменялся от 0 до 0,2% от а.с.д. Общее количество сульфатных варок составило пять.

На втором этапе исследования в лабораторных условиях были проведены исследования качественных характеристик полученной сульфатной хвойной небеленой целлюлозы в соответствии с требованиями ГОСТ 14363.4 «Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям». Из подготовленной массы изготавливали образцы отливок целлюлозы массой 75 ± 2 г/м² и диаметром 0,2 м. Формование отливок выполняли на листоотливном аппарате “Rapid-Ketten” (фирма “Ernst Haage”, Германия) в соответствии с требованиями стандарта ISO 5269-2. Для воспроизводимости результатов образцы отливок целлюлозы подвергали акклиматизации в течение 24 ч при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $65 \pm 5\%$.

На исследуемых образцах изучали влияние расхода ПАН от 0,05 до 0,2% от массы абс. сух. древесины на прочностные свойства с помощью разрывной машины SE 062/064 “Lorentzen & Wettre” (ГОСТ ИСО 1924–1–96), сопротивление излому с помощью аппарата И-1-2 (фальцер Шоппера), сопротивление раздиранию с помощью прибора Эльмендорфа (ГОСТ 11208) и белизну с помощью фотометра белизны и цветности марки Колир (ISO 2470, ГОСТ 30113). Все применяемые методики исследований соответствовали требованиям стандартов, принятых в целлюлозно-бумажной отрасли. На каждую точку эксперимента изготавливали и испытывали не менее пяти образцов. На рис. 1 представлены графические зависимости прочностных свойств и белизны от расхода полиакрилонитрила.

Как видно из графических зависимостей (рис. 1), при увеличении расхода ПАН от 0,05 до 0,20% от абс. сух. древесины сопротивление

листового образца целлюлозы растяжению повышается. Так, разрушающее усилие в сухом состоянии увеличивается от 93,8 до 109,5 Н, сопротивление излому – от 7 до 13 двойных перегибов. Это может быть связано с вероятным получением в процессе сульфатной варки упрочняющего вещества на основе прогидролизованного полиакрилонитрила, который способствует повышению упругоэластических свойств. Однако, вместе с тем, у образцов целлюлозы наблюдалось снижение сопротивления раздиранию с 1706 до 1270 мН и белизны с 31,5 до 21,8%. Первое явление может быть связано с возможным снижением количества свободных микрофибрилл на поверхности целлюлозных волокон за счет связывания их с частицами полиакрилонитрила и уменьшения количества контактов в z-направлении листового материала. Снижение белизны может происходить в результате взаимодействия аммиака, выделяемого при гидролизе полиакрилонитрильных волокон, с лигнином. При этом будут образовываться хромофорные соединения, поглощающие световые волны.



a – разрушающее усилие в сухом состоянии; *б* – сопротивление излому;
в – сопротивление раздиранию; *г* – белизна

Рисунок 1 - Влияние расхода ПАН на свойства хвойной сульфатной небеленой целлюлозы

На третьем этапе были построены диаграммы «Состав-Свойство» для таких показателей как разрывная длина (рис. 2), разрушающие усилия в сухом состоянии, сопротивление раздиранию (рис. 3) и определено оптимальное сочетание компонентов мешочной бумаги.

Данные диаграммы позволяют установить, каким образом тот или иной композиционный состав влияет на показатели качества продукции.

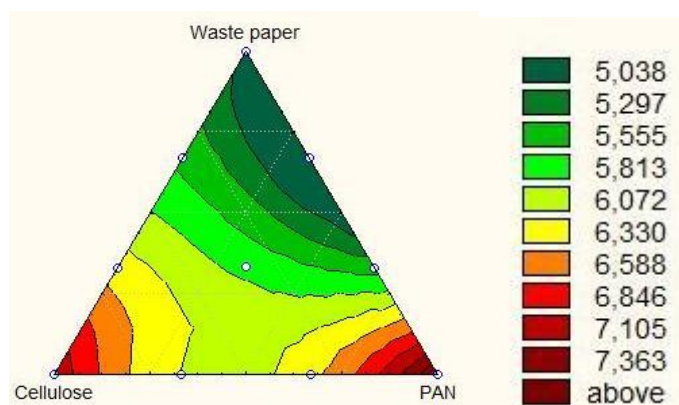
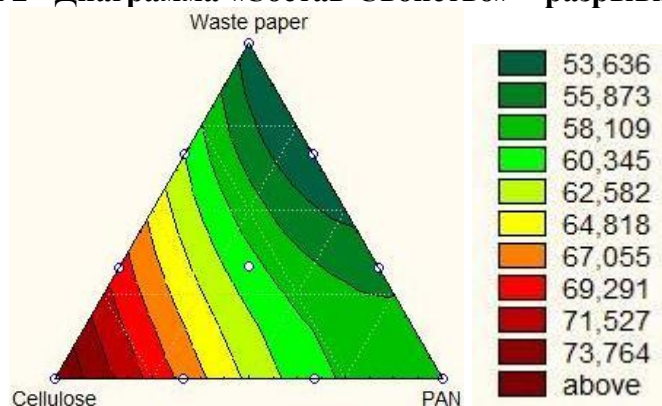
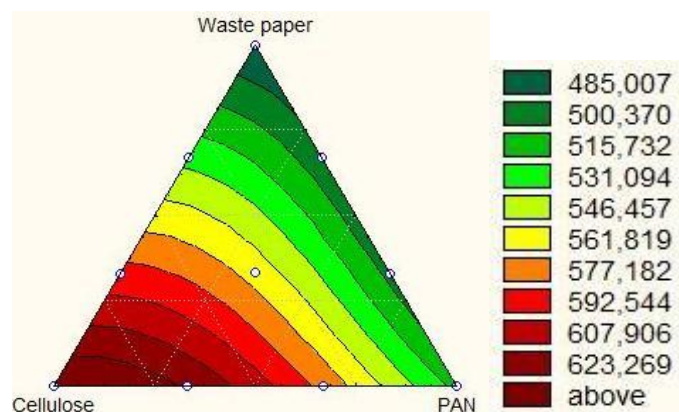


Рисунок 2 - Диаграмма «Состав-Свойство» – разрывная длина



a



б

a – разрушающее усилие в сухом состоянии; *б* – сопротивление раздиранию

Рисунок 2 - Диаграммы «Состав-Свойство»

Как видно из представленных диаграмм, снижение показателей качества наблюдается при увеличении доли макулатуры в композиции мешочной бумаги. Но благодаря введению в композицию ПАН-волокон можно частично нивелировать данное снижение.

Проведя поиск оптимального сочетания компонентов мешочной бумаги, получили следующие результаты:

- доля целлюлозы – 42,9%;
- доля макулатуры – 57,03%;
- доля ПАН-волокон – 0,07%.

Таким образом, разработанная нами технология сульфатной варки хвойной щепы в присутствии полиакрилонитрильных (ПАН) волокон позволяет повысить физико-механические показатели получаемой целлюлозы, что дает возможность заменить часть дорогостоящего сырья (27%), такого как целлюлоза, на более дешевую макулатуру без потери качества производимой продукции.

УДК 661.183.3

М.А. Архилин, аспирант,
Н.И. Богданович, проф., д-р техн. наук,
А.А. Меньшина, магистрант
(САФУ имени М.В. Ломоносова, Россия, г. Архангельск)

ФЕРРОМАГНИТНЫЕ АДСОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

В настоящее время в России достаточно остро стоит проблема комплексного использования природного сырья, в частности, древесины. Известно, что отходы механической и химической переработки дерева – опилки, кора, лигнины могут быть использованы для получения ценных продуктов – адсорбентов [1]. При этом для получения адсорбентов применяют химические активирующие агенты, такие как $ZnCl_2$ и гидроксиды щелочных металлов [2]. Химический метод активации углеродсодержащего сырья благодаря своим преимуществам постепенно вытесняет физический метод. При использовании химической активации получают адсорбенты с большим объемом пор и более узким распределением пор по размерам.

Известно, что гидроксид железа (III) в определенных условиях может являться активирующим агентом [3]. При этом образуются адсорбенты, обладающие магнитной восприимчивостью. Преимущество таких адсорбентов заключается в том, что при контактной очистке промышленных растворов процесс существенно упрощается за счет проведения адсорбции на больших скоростях (скорость потока может

быть увеличена в 15–17 раз), и благодаря лёгкости отделения адсорбента от промышленных растворов путём магнитной сепарации.

Нами было получено 2 серии ферромагнитных адсорбентов (ФМА). Для получения адсорбентов серии МС в качестве сырья использовали гидролизный лигнин, для серии МСЕО – еловые опилки. Адсорбенты получали обработкой древесного сырья раствором сульфата железа (III) с последующим осаждением гидроксида железа (III) щёлочью и с последующими отмывкой, сушкой и пиролизом полученной смеси. Магнитная восприимчивость адсорбентов появляется после пиролиза в результате восстановления гидроксида железа (III) до ферромагнитных форм – магнетита и α -формы железа.

Синтез и исследование свойств ФМА проводили методом планированного эксперимента. Так как выходные параметры в условиях опытов должны изменяться по простым функциональным зависимостям не выше второго порядка, в качестве плана был выбран центральный композиционный ротатабельный униформ-план второго порядка. В качестве независимых переменных были выбраны дозировка гидроксида железа в пересчёте на Fe_2O_3 , значение pH конечной точки осаждения $Fe(OH)_3$ и температура пиролиза. Значение и интервалы варьирования факторов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Переменные факторы	Шаг варьирования, λ	Уровни варьирования факторов				
		-1,682 ($-\lambda$)	-1	0	1	1,682 ($+\lambda$)
Дозировка Fe_2O_3 , %, X_1 ,	5	21,6	25	30	35	38,4
pH обработки образца, X_2	1,2	6,0	6,8	8,0	9,2	10,0
Температура пиролиза, X_3	40	773	800	840	880	907

Выходные параметры являются выход адсорбента V (%), адсорбционная активность (мг/г) по йоду $A(I_2)$, по метиленовому голубому $A(MГ)$, по парам воды $A(H_2O)$ и гексана $A(Г)$, относительная магнитная восприимчивость (ОМВ). Полученные экспериментальные данные использовали для расчета коэффициентов уравнений регрессии и разработки статистических моделей, связывающих значения выходных параметров с условиями их получения. Уравнения регрессии для серии МСЕО:

$$A(MГ) = 526 + 28X_1 - 44X_3 - 41X_1X_2 - 18X_2^2 + 38X_3^2 \quad (1);$$

$$A(I_2) = 2074 + 141X_2 - 223X_3 - 136X_2^2 - 191X_3^2 \quad (2);$$

$$A(Г) = 142,4 + 7,1X_2 + 7,7X_3 - 15,0X_2^2 - 7,4X_3^2 \quad (3);$$

$$A(H_2O) = 95,4 - 11,0X_1 + 5,9X_2 - 8,5X_1X_2 - 6,3X_1^2 + 2,4X_3^2 \quad (4);$$

$$OMB = 16,2 + 3,6X_2 - 2,0X_2X_3 + 3,4X_1^2 - 1,4X_2^2 \quad (5);$$

$$B = 32,9 + 0,9X_3 - 1,4X_1X_2 + 0,8X_1X_3 + 2,8X_1^2 + 2,8X_2^2 - 0,7X_3^3 \quad (6).$$

Из уравнений 2 и 3 видно, что на адсорбционную активность по иоду и по парам гексана у адсорбентов серии МСЕО не влияет дозировка Fe_2O_3 , а зависимость адсорбции данных адсорбтивов от рН и от температуры пиролиза проходит через максимум. Влияние температуры пиролиза на адсорбцию МГ отрицательное. рН и дозировка Fe_2O_3 имеют влияние друг на друга, и максимальная адсорбция МГ достигается либо при низких рН и высоком содержании Fe_2O_3 , либо при низком содержании Fe_2O_3 и высоких рН. Влияние рН на адсорбцию водяного пара – положительное, а температура не оказывает влияния на адсорбцию. Повышение дозировки Fe_2O_3 при низких рН способствует увеличению адсорбции водяных паров, а при высоких рН – снижению.

Зависимости выхода от рН и дозировки Fe_2O_3 проходят через минимум. Температура практически не влияет на выход сорбентов. Зависимость магнитной восприимчивости от дозировки Fe_2O_3 имеет минимум в центре плана, а при увеличении рН магнитная восприимчивость возрастает. Повышение температуры при больших значениях рН приводит к ухудшению магнитных свойств, а при низких – к улучшению.

Уравнения регрессии для серии МС:

$$A(MG) = 331 + 41X_1 + 18X_2 + 20X_3 + 13X_1X_3 + 26X_2X_3 - 7,2X_1^2 - 8,7X_2^2 \quad (7);$$

$$A(I_2) = 1124 + 184X_1 + 163X_3 + 65X_1X_3 \quad (8);$$

$$A(\Gamma) = 210,3 - 70,2X_3 + 13,5X_1X_3 - 7,4X_1^2 + 23,4X_2^2 + 11,7X_3^2 \quad (9);$$

$$A(H_2O) = 164,0 + 18,6X_2 - 19,4X_2^2 - 25,9X_3^2 \quad (10);$$

$$OMB = 11,5 - 1,1X_1 - 1,4X_2 - 2,3X_1X_2 + 1,3X_1X_3 - X_1^2 + 1,5X_2^2 + 1,6X_3^2 \quad (11);$$

$$B = 40,5 - 1,2X_3 + 0,2X_1^2 - 0,5X_2^2 - 0,8X_3^2 \quad (12).$$

Выявлены следующие зависимости. Адсорбция МГ при повышении рН и увеличении дозировки железа возрастает. Температура также оказывает положительное влияние на адсорбцию МГ, однако при повышенных дозировках Fe_2O_3 и низких рН влияние температуры становится ничтожно малым. Адсорбционная активность по иоду линейно увеличивается при повышении температуры пиролиза и при увеличении содержания Fe_2O_3 . рН не влияет на адсорбцию иода.

Адсорбция паров гексана возрастает при увеличении температуры. При высоких температурах снижение дозировки способствует повышению адсорбции гексана, а при низких – наоборот. Зависимость адсорбции гексана от рН проходит через минимум. Адсорбция по парам воды не зависит от дозировки железа. Зависимости от рН и температуры пиролиза проходят через максимум.

Магнитная восприимчивость зависит от рН следующим образом: при низких дозировках железа рН увеличивает ОМВ, при высо-

ких – снижает. При высоких рН увеличение дозировки железа снижает ОМВ, при рН около 6 зависимость ферромагнитных свойств от дозировки Fe_2O_3 проходит через максимум.

Для адсорбентов на основе гидролизного лигнина температура пиролиза значительно влияет на выход: при увеличении температуры выход уменьшается. Наблюдается меньший выход адсорбентов при средних дозировках Fe_2O_3 и при крайних значениях рН.

Адсорбенты серии МС были обследованы методом низкотемпературной адсорбции азота на анализаторе площади поверхности и пористости ASAP 2020mp (Micromeritics, USA). Типичный вид изотермы адсорбции азота показан на рисунке 1. Вертикальный участок в начале кривой указывает на наличие микропор, а петля гистерезиса отражает явление капиллярной конденсации, характерное для мезопор.

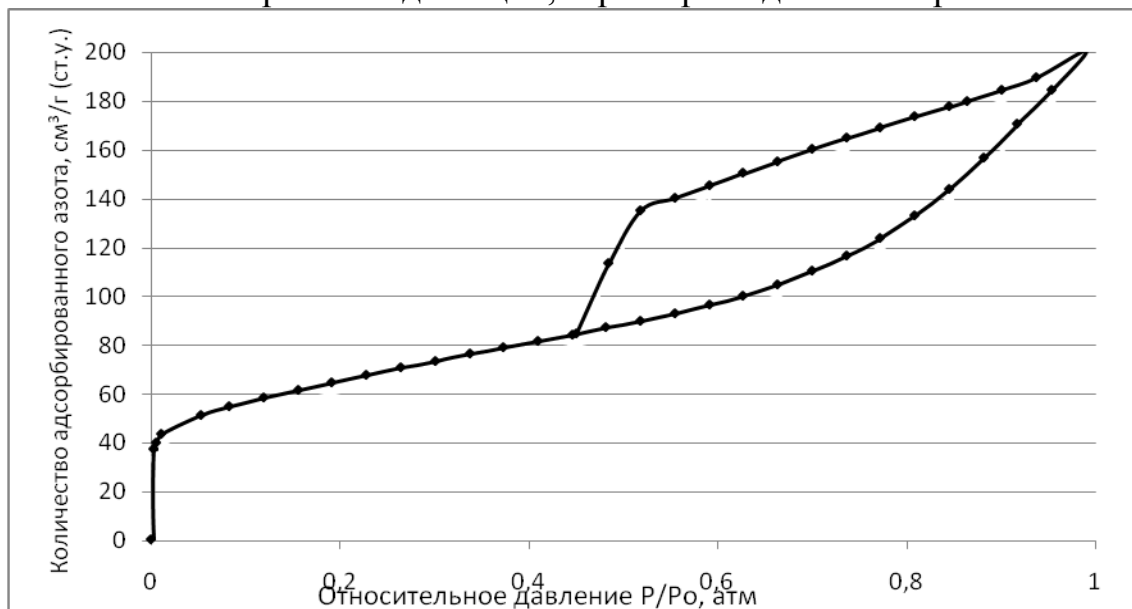


Рисунок 1 – Изотерма низкотемпературной адсорбции азота

Среди исследованных образцов МС-10 лидирует по суммарному объёму пор по БЭТ и по объёму мезопор по методу ВЈН (0,49 и 0,41 $\text{см}^3/\text{г}$). Это вызвано наибольшей средней шириной мезопор (7,61 нм). По удельной площади поверхности по БЭТ (315 $\text{м}^2/\text{г}$) и по объёму микропор лидером является МС-12 с 0,13 $\text{см}^3/\text{г}$ (по Дубинину-Радушкевичу). Таким образом, лучшие образцы ферромагнитных адсорбентов по объёму пор сопоставимы с активным углём на основе скорлупы кокоса, считающимся современным эталоном среди активных углей. Они имеют невысокую удельную площадь поверхности (250–300 $\text{м}^2/\text{г}$), что, однако, не отражается на их адсорбционных свойствах.

ЛИТЕРАТУРА

1 Белецкая, М. Г. Углеродные адсорбенты на основе лигноцеллюлозных материалов /М.Г. Белецкая, Н.И. Богданович, Н.А. Макаревич, Ю.А. Саврасова // Лесной журнал. изв. вузов, 2012. – № 1. – С. 107–112.

2 Viswanathan, B. Methods of activation and specific applications of carbon materials [Text] / B. Viswanathan, P. Indra Neel, T.K. Varadarajan // NCCR Internal Bulletin (Unpublished), 160 P. Режим доступа: <http://www.nccr.iitm.ac.in/e%20book-Carbon%20Materials%20final.pdf>.

3 Шевченко, Р.С. Формирование сорбционных и магнитных свойств ферромагнитных адсорбентов при пиролизе отходов переработки древесины в присутствии гидроксида железа (III) / Р.С. Шевченко, Н.И. Богданович, Л.Н. Кузнецова, Г.В. Добеле // Лесн. журн. – 1999. – № 2–3. – С.142–150.

УДК 661.183.2

А.И. Бубнова, аспирант,
К.А. Романенко, магистрант,
Н.И. Богданович, проф., д-р техн. наук
(САФУ имени М.В.Ломоносова, Россия, Архангельск)

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ АДСОРБЕНТОВ ИЗ КОРЫ ЕЛИ

Термохимическое активирование (ТХА) находит все большее применение как один из способов производства углеродных адсорбентов (УА) с развитой и однородной пористой структурой [1,2]. Для анализа влияния режимных параметров синтеза активных углей (АУ) на формирование их пористой структуры был реализован планированный эксперимент, а именно, центральный композиционный ротатбельный равномерный план для трех факторов.

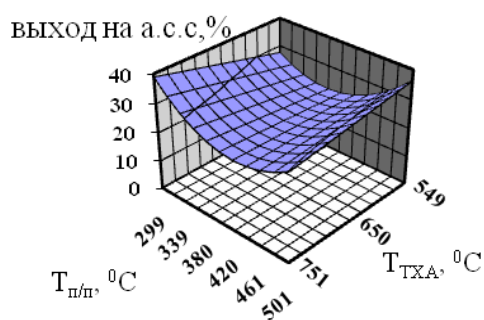
В качестве исходного сырья использовали кору ели, отобранную на одном из лесоперерабатывающих предприятий г. Архангельска. Образцы АУ получали при различных условиях. На первом этапе провели предпиролиз сырья при температурах ($T_{п/п}$) от 300 до 500°C, в результате которой сформировалась первичная пористая структура углясырца. В дальнейшем уголь-сырец активировали, используя в качестве активирующего агента гидроксид натрия. ТХА проводили при температурах ($T_{ТХА}$) от 550 до 750 °С.

Адсорбционные свойства активных углей оценивали по адсорбции йода и метиленового голубого (МГ) из стандартных водных растворов. Полученные экспериментальные данные были использованы для построения поверхностей отклика, которые наглядно демонстрируют влияние режимных параметров на выход, удельную поверхность

активных углей, адсорбционную способность по йоду и метиленовому голубому (рисунок 1). В таблице 1 представлены сравнительные данные некоторых образцов углей с требованиями ГОСТ.

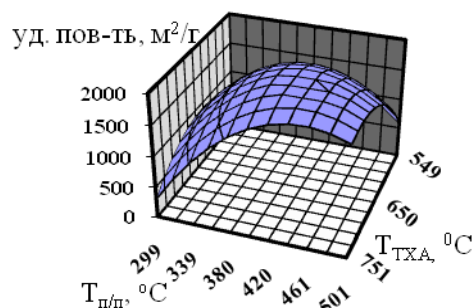
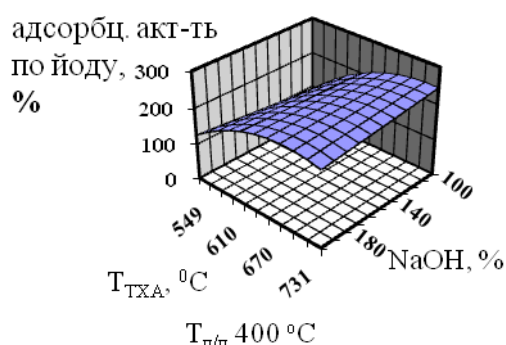
Таблица 1 – Сравнительные данные образцов с требованиями ГОСТ

Наим-е образца	Сорбция по йоду, %	Сорбция по МГ, мг/г
КН-4	254	476
КН-8	229	606
КН-14	267	617
КН-18	222	575
Требования ГОСТ	80	225



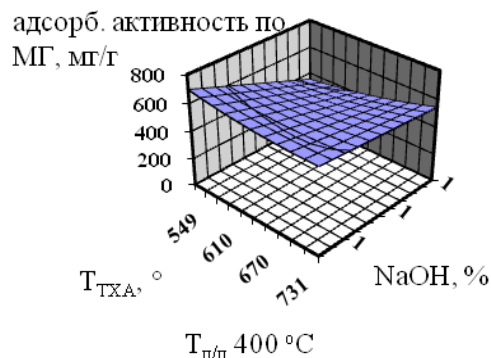
Дозировка NaOH 150%

а



Дозировка NaOH 150%

в



г

Рисунок 1 – Влияние режимных параметров на выход, удельную поверхность, адсорбционную способность по йоду и МГ

Исходя из графиков видно, что дозировка щелочи не оказывает существенного влияния на сорбционные свойства по йоду. Но оказывает положительное влияние на адсорбционную способность по МГ, особенно в области низких температур термохимической активации. Максимальная удельная поверхность рассчитанная по адсорбции йода достигается при наивысшей температуре активации.

Исследования пористой структуры полученных активных углей проводили на приборе ASAP 2020 методом низкотемпературной ад-

сорбции азота при 77К и относительном давлении P/P_0 от 0 до 1. С помощью автоматизированной системы был проведен полный анализ объема микро- и мезопор, их распределения по размерам и определена удельная площадь поверхности. Полученные изотермы относятся к I типу изотерм по ИЮПАК, характерной для микропористых твердых тел. Для иллюстрации на рисунке 2 приведены некоторые изотермы адсорбции – десорбции азота, полученные для образцов АУ в различных условиях ТХА.

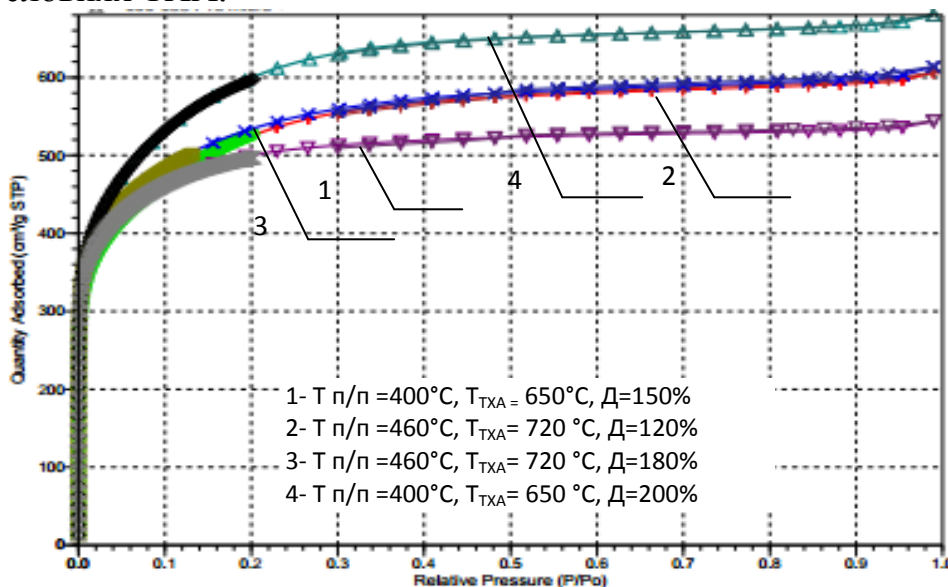


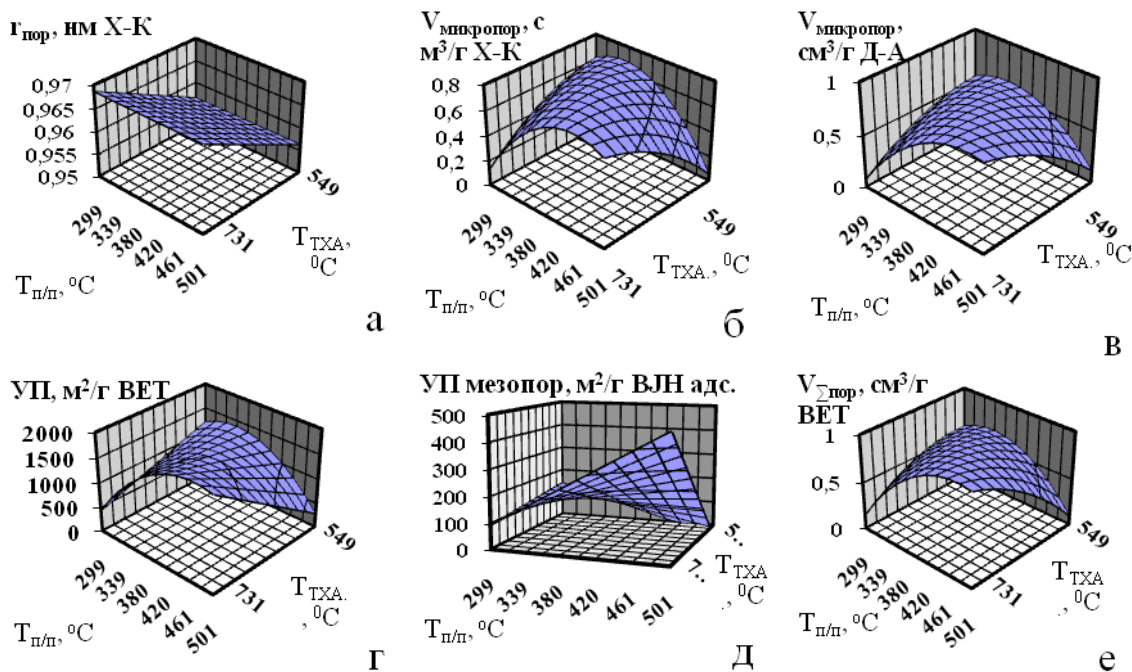
Рисунок 2 – Изотермы низкотемпературной адсорбции азота

Исходя из рисунка следует, что пористая структура представлена в основном микропорами. Мезопоры присутствуют в небольшом количестве. Изотермы адсорбции-десорбции азота использовались для расчета параметров пористой структуры следующими методами: удельная поверхность образцов рассчитывалась по известному методу БЭТ в интервале относительных давлений 0,05–0,35; по десорбционной ветви изотермы изотермы определяли объемы мезопор (с размером 1,6–50 нм) и их распределение по размерам методом Barrett-Joyner-Halenda (BJH), объемы и распределение микропор по размерам в исследованных образцах оценивались методами Horvath-Kawazoe (Х-К), Dubinin-Astakhov (Д-А). Объем микропор по всем расчетным методам оказался аналогичен.

Для установки взаимосвязи между значениями удельной поверхности (УП), общего объема пор, объема микро- и мезопор, а также полуширины пор (r) АУ с условиями их синтеза были построены экспериментальные зависимости (рисунок 2).

По данным низкотемпературной адсорбции азотом выявлено, что оптимальные условия для формирования микропор являются повышенная температура предпиролиза (450–500 $^{\circ}\text{C}$) и средний уровень

значений температуры ТХА (500–570°C). При этом увеличение дозы щелочи оказывает незначительное положительное влияние, а значит, ее можно зафиксировать на уровне 100% к а.с.с. без ущерба для параметров пористой структуры.



а – средняя ширина пор по Horvarth-Kawazoe, нм; б – объем микропор по Horvarth-Kawazoe, cm^3/g ; в - объем микропор по Dubinin-Astakhov, cm^3/g ; г – уд.поверхность по БЭТ, m^2/g ; д - уд.поверхность по ВЛ адс., m^2/g ; е– суммарный объем пор по БЭТ, cm^3/g .

Рисунок 2 – Влияние режимных параметров на формирование пористой структуры АУ по показателю

Таким образом, методом планированного эксперимента были получены активные угли с достаточно высокими показателями адсорбции по йоду и осветляющей способности по МГ, с высоким значением пористости и удельной площадью поверхности пор. Что доказывает их возможное применение в различных промышленных производствах, в решении проблем экологии и здоровья человека.

ЛИТЕРАТУРА

1 Beletskaya M.G., Bogdanovich N.I. The Formation of Adsorption Properties of Nanoporous Materials by Thermochemical Activation. Russian Journal of Bioorganic Chemistry, 2014. – Vol. – 40. – N. 7.– p. –717–721.

2 Саврасова Ю.А., Богданович Н.И., Макаревич Н.А., Белецкая М.Г. Углеродные адсорбенты на основе лигноцеллюлозных материалов. ИВУЗ Лесной журнал. – 2012. – № 1. – Архангельск: С(А)ФУ, 2012. – с.107–112.

Е.А. Лагунова, ассист., аспирант,
Н.И. Богданович, проф., д-р техн. наук,
Л.Н. Кузнецова, доц., канд. техн. наук,

С.А. Цаплина, доц., канд. техн. наук
(САФУ им. М.В. Ломоносова, Россия, г. Архангельск)

ПИРОЛИЗ ЧЕРНОГО ЩЕЛОКА С ПОЛУЧЕНИЕМ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ И РЕГЕНЕРАЦИЕЙ ХИМИКАТОВ

Промышленность химической переработки древесины отличается сравнительно невысоким коэффициентом использования сырья и является одним из агрессивных нарушителей экологического равновесия. Основную часть отходов, накапливающихся в огромных количествах, составляют так называемые технические лигнины.

В отличие от других видов сульфатный лигнин не является производственным отходом. На сульфат-целлюлозных заводах отработанные черные щелока, как правило, после упаривания и съема сульфатного мыла сжигают в содорегенерационных агрегатах с целью регенерации щелочи и серы, а также утилизации тепла от сжигания органической части [1]. Доказана техническая возможность и экономическая целесообразность частичного отбора сульфатного щелока, идущего на регенерацию, с целью выделения отдельных составляющих его компонентов [2]. Одним из способов переработки черного щелока с получением углеродных адсорбентов является пиролиз [3, 4].

На формирование сорбционных свойств и регенерацию реагентов при пиролизе черного щелока большое влияние имеют режимные параметры, такие как температура, продолжительность пиролиза, дозировка гидроксида натрия [5]. В данной работе основное внимание было уделено влиянию расхода NaOH на свойства углей и на состав Na-продуктов в промывных водах. На основе имеющихся данных границы экспериментального исследования были ограничены верхним пределом дозировок в 300% по отношению к сухим веществам черного щелока. Дозировка 300% является наиболее целесообразной при обработке органических материалов с невысокой начальной зольностью. Черный щелок отличается высоким содержанием зольных элементов, причем в составе золы преобладают соли натрия. Подобная специфика черного щелока позволила предположить, что дозировку гидроксида натрия можно несколько снизить, что и являлось одной из задач данного исследования.

Эксперимент проводили при следующих режимных параметрах: температура 600°C, продолжительность пиролиза 1 час. По окончании процесса сухой продукт термообработки выгружали из реторты и

промывали 3 раза дистиллированной водой. Остаток после промывки высушивали и исследовали. Этот остаток представляет собой активный уголь с высокими адсорбционными свойствами.

На рисунке 1 представлена зависимость выхода угля от дозировки

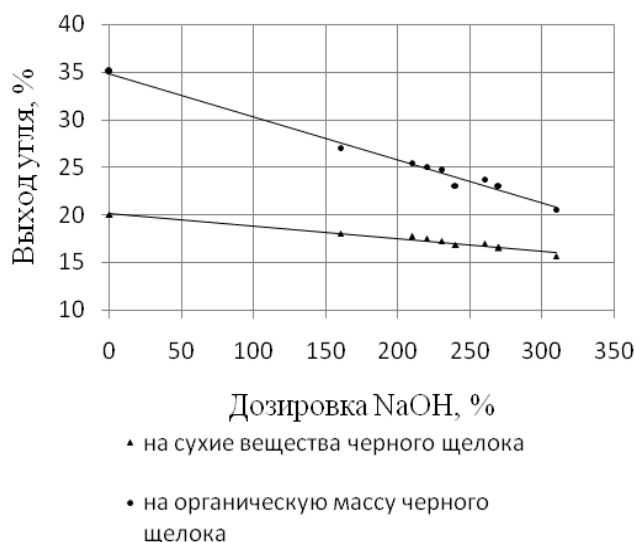


Рисунок 1 – Влияние дозировки гидроксида натрия на выход угля

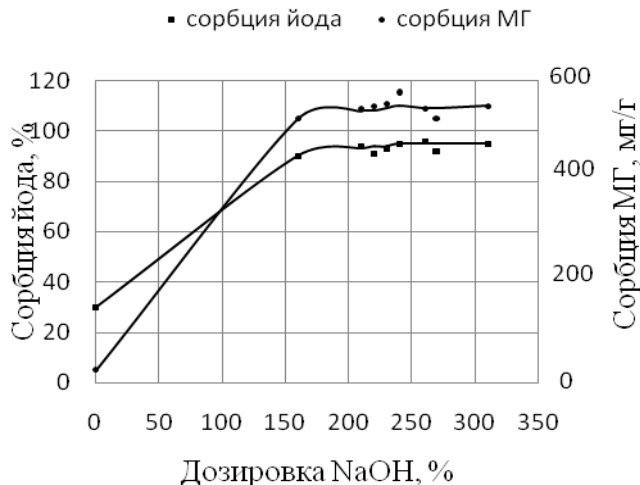


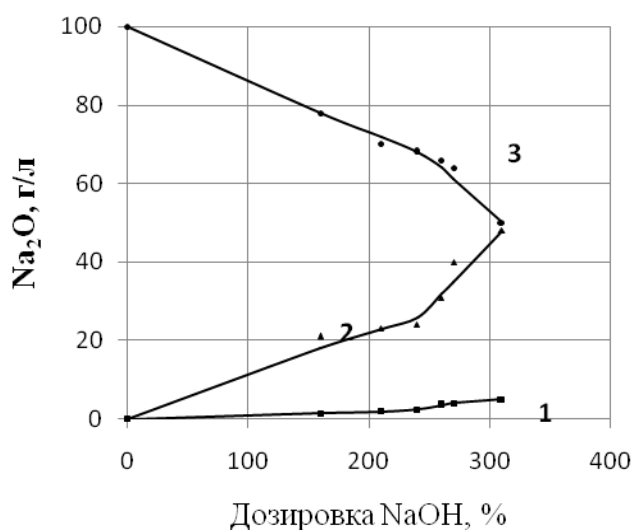
Рисунок 2 – Влияние дозировки гидроксида натрия на адсорбционные свойства активного угля

ровки гидроксида натрия. Как следует из расположения опытных точек на графике, с увеличением дозировки щелочи выход активного угля снижается.

Зависимость, отражающая изменение выхода угля с увеличением дозировок гидроксида натрия, с некоторым приближением можно считать линейной.

На рисунке 2 представлена зависимость дозировки гидроксида натрия на адсорбционные свойства активного угля. Сорбционные свойства активных углей возрастают с увеличением дозировок щелочи вплоть до 160% по отношению к сухим веществам черного щелока. Дальнейший ввод гидроксида натрия в реакцию можно считать нецелесообразным,

так как свойства активных углей стабилизируются. Таким образом, дозировку щелочи при условии получения активных углей с высокими сорбционными свойствами в первом приближении следует поддерживать на уровне 160% к сухим веществам черного щелока.



1 – сумма сульфида, сульфита и тиосульфата натрия; 2 – гидроксид натрия
3 – карбонат натрия

Рисунок 3 – Влияние дозировки гидроксида натрия на состав Na-продуктов в промывных водах

На основании зависимостей представленных на рисунке 3, можно заключить, что гидроксид натрия в значительной мере подвергается карбонизации за счет реакции с выделяющимся при пиролизе CO_2 . Особенно заметно этот процесс протекает при расходах NaOH до 250% на активирование углеродной матрицы. При больших расходах указанного реагента процесс химического взаимодействия щелочи с углем ослабевает.

Образование серосодержащих натриевых соединений весьма незначительно, несмотря на высокое их содержание в исходном щелоке. Это можно объяснить высоким расходом щелочи на процесс термохимического активирования.

Следовательно, можно утверждать, что пиролиз черного щелока в избытке NaOH приводит к получению активных углей с высокими сорбционными свойствами. Для формирования максимальных сорбционных свойств активного угля расход щелочи можно существенно снизить (до 160%) по сравнению с аналогичными процессами, осуществляемыми с техническими лигнинами другого происхождения. Объяснение отмеченной особенности по нашему мнению, заключается в высоком содержании в исходном щелоке натриевых соединений, которые могут выступать самостоятельными реагентами термохимической активации.

Один из образцов полученных активных углей был исследован на приборе ASAP 2020 фирмы Micromeritics (США) для изучения формирования удельной поверхности и характера пористой структуры методом низкотемпературной адсорбции азота (рисунок 4). Полученная изотерма относится к I типу по классификации Брунауэра, характерная для микропористых твердых тел, содержащих в значительном количестве мезопоры.

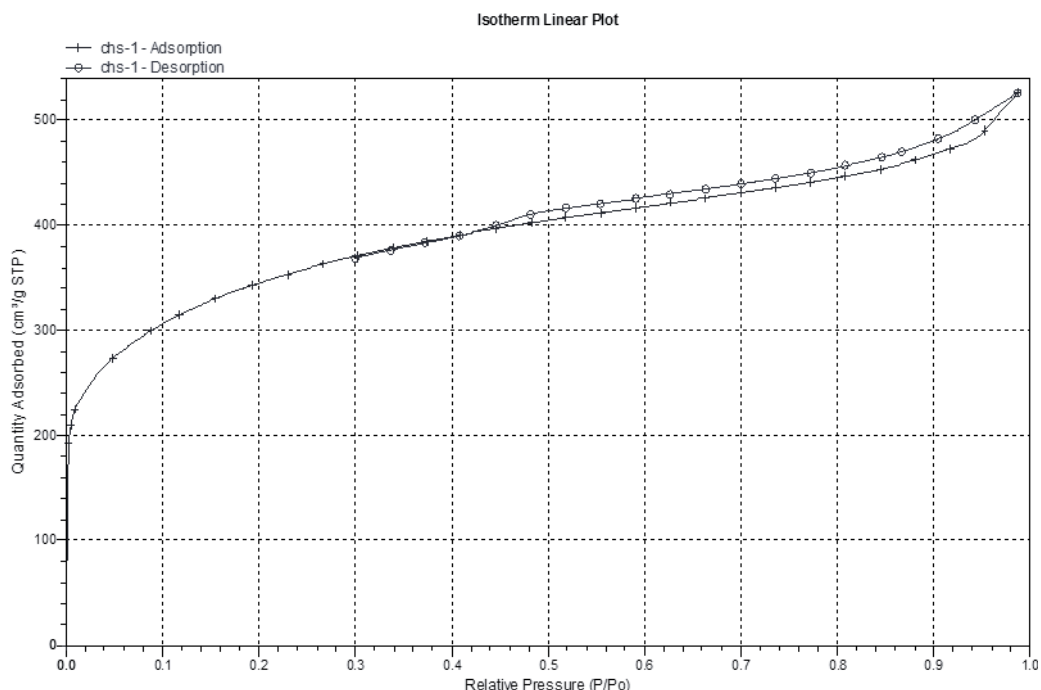


Рисунок 4 – Изотерма адсорбции-десорбции азота активированным углем

Изотерма была использована для расчета параметров пористой структуры угля:

Уд. площадь поверхности по БЭТ, м ² /г	Уд. площадь поверхности по Ленгмюру, м ² /г	Уд. площадь поверхности мезо- и макропор, м ² /г	Общий объем пор/объем микропор, см ³ /г	Средний размер пор, нм
1085,94	1996,78	415,18	0,81/0,36	3,00

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Технология целлюлозы. В 3-х томах; Т.2. Непенин Ю.Н. Производство сульфатной целлюлозы. / М.: Лесная пром-ть, 1990. – 600 с.
- 2 Мосягин В.И. Вторичные ресурсы целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности / М.: Лесная пром., 1987. – 200 с.
- 3 Богданович Н.И. Пиролиз технических лигнинов / ИВУЗ Лесной журнал, 1998. – № 2. – С. 120–132.
- 4 Лагунова Е.А. Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Цаплина С.А. Получение углеродных адсорбентов из черного щелока в присутствии сульфата натрия / Системы и технологии жизнеобеспечения, индикации, химической разведки и защиты человека от негативных факторов химической природы: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., г. Тамбов 9 окт. 2013 г.
- 5 Богданович Н.И., Лагунова Е.А. и др. Особенности термохимической активации лигноцеллюлозных материалов гидроксидами щелочных металлов / Физикохимия лигнина: материалы III Междунар. конф., Архангельск, АГТУ, 2009. – С.100–104.

Я.В. Казаков, доц., канд.техн.наук
(Северный (Арктический) федеральный университет,
г. Архангельск, Россия)

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
МОДЕЛИРОВАНИЯ АНИЗОТРОПНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ
СТРУКТУР ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ
ТЕХНОЛОГИИ БУМАГИ И КАРТОНА**

Практические решения и реализованные разработки по совершенствованию технологии производства бумаги и картона, модификации параметров технологии, улучшению качества продукции и оптимизации затрат на технологию практически всегда базируются на результатах исследовательских работ, осуществляемых в лабораторных условиях. Анализ результатов тестовых исследований позволяет выбрать параметры новых технологий, обеспечивающих максимальный эффект в условиях конкретного производства, для использования на действующих БДМ и КДМ.

Традиционно базовым лабораторным оборудованием, используемым для изготовления стандартных лабораторных образцов бумаги, являются классические листоотливные аппараты типа Rapid-Ketten различной модификации, позволяющие получать отливки в виде круга диаметром 200 мм при отсутствии преимущественной ориентации волокна в плане листа. Данные аппараты при изготовлении лабораторных образцов обеспечивают выполнение требований стандартов (ГОСТ 14363.4; ISO 5269-2; DIN 54358; TAPPI T205; SCAN C26) и используются практически во всех производственных и исследовательских лабораториях, связанных с технологией целлюлозно-бумажного производства.

Однако условия формования, обезвоживания и сушки лабораторных модельных образцов, изготовленных на классических листоотливных аппаратах резко отличаются от условий мокрой, прессовой и сушильной частей современных БДМ и КДМ. Главным отличием лабораторных образцов от машинных является отсутствие ориентации волокон, то есть их изотропность в плане листа. Таким образом, результаты лабораторных испытаний, например, новых компонентов композиции бумажной массы, будут существенно отличаться от результатов их применения в условиях реальных БДМ и КДМ.

Решением, позволяющим повысить надежность тестовых лабораторных испытаний, является применение современных технологий моделирования анизотропных волокнистых структур, используемых в ди-

намическом листоотливном оборудовании, позволяющего изготавливать лабораторные образцы бумаги и картона на движущейся сетке при варьировании степени анизотропии листа, давления прессования и температуры сушки. Всё это позволяет приближать свойства модельных лабораторных образцов к реальной продукции.

В Северном (Арктическом) федеральном университете имени М.В. Ломоносова (САФУ), г. Архангельск, Россия, с 2012 г. функционирует Инновационно-технологический центр «Современные технологии переработки биоресурсов Севера». Продукция и технологии целлюлозно-бумажного производства занимают в деятельности ИТЦ одно из ведущих мест. В состав ИТЦ входит ряд специализированных лабораторий, оснащенных современным наукоемким оборудованием, среди которых важное место занимает Лаборатория исследования композиций и моделирования образцов бумаги и картона [1].

Функционирующий в ИТЦ Лабораторный комплекс для моделирования анизотропных волокнистых структур, изготовленный фирмой TechPar, Франция, включает динамическое формующее устройство, пневматический вальцовый пресс с регулируемой нагрузкой и устройство контактной сушки с регулируемой температурой. Все это позволяет максимально приблизить свойства получаемых образцов бумаги и картона к продукции БДМ и КДМ при скорости движения формующей сетки от 700 до 1300 м/мин.

На этом аппарате получают отливки прямоугольной формы размером 245×900 мм, в том числе многослойные, произвольной композиции по волокну и химикатам и с большим диапазоном массы 1 м².

Формование отливки происходит путем распыления волокнистой массы на сетку, расположенную во вращающемся цилиндрическом сосуде и покрытой слоем воды. После распыления заданного количества бумажной массы, отливки обезвоживаются под воздействием центробежной силы, создаваемой при вращении сосуда.

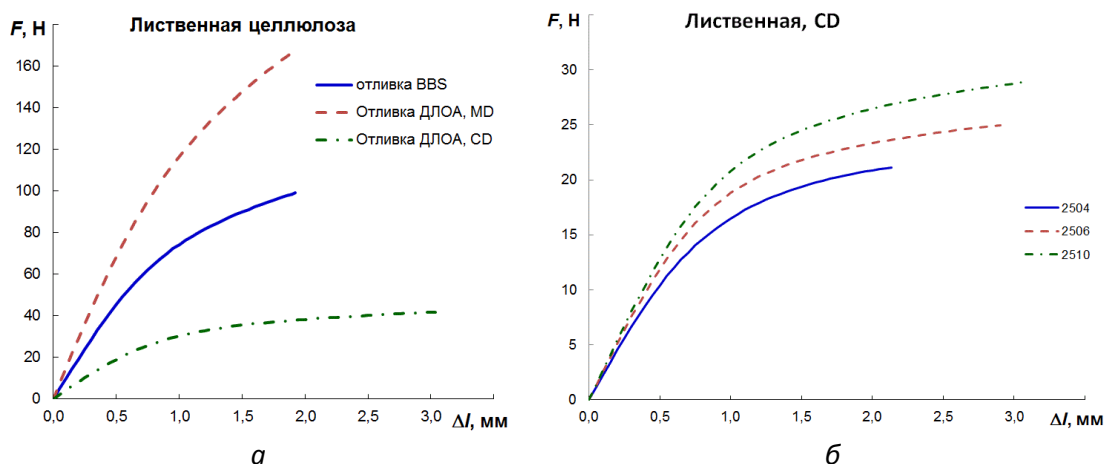
Снятую с сетки влажную отливку накрывают фильтровальной бумагой, прессуют и сушат между слоями фильтровальной бумаги, что обеспечивает получение сформованной отливки, подобной листу, произведенному промышленным способом.

При работе на листоотливном аппарате могут быть изменены ряд параметров формования, среди которых регулирование скорости сетки и нагнетания волокнистой массы, выбор форсунки с различным диаметром напускного отверстия. Регулирование этих параметров с учетом композиции по волокну позволяет получить лабораторные образцы различной структуры с анизотропией жесткости по $TSI_{MD/CD}$ от 1,4 до 7,2.

Сравнение свойств лабораторных отливок с целевой массой одного метра квадратного 75 г, изготовленных на классическом листоотливном аппарате BBS-2 (Estanit) типа Rapid-Ketten и на динамическом листоотливном аппарате TechPap (ДЛОА) было выполнено для сульфатной беленой хвойной (26°ШР) и лиственной целлюлозы (28°ШР) [2].

Результаты показали, что физические (структурно-размерные) характеристики изотропных и анизотропных образцов практически идентичны, что свидетельствует о примерно одинаковых условиях обезвоживания и удержании мелочи. При этом качество формования и однородность структуры, оцениваемое по индексу формования однозначно свидетельствует о большей однородности структуры анизотропных образцов, полученных на динамическом листоотливном аппарате, что свидетельствует о лучших условиях формирования структуры. Анизотропия жесткости при растяжении $TSI_{MD/CD}$ у полученных образцов составила величину 3,4.

Кривые «нагрузка-удлинение», полученные при испытании на растяжение лабораторных образцов, представлены на рис.1,а. Испытания проведены на лабораторном комплексе с использованием методики [2] и программного обеспечения [3]. Данные зависимости для образцов в продольном и поперечном направлении соответствуют типичным образцам бумаги производственного изготовления, а кривые для образцов из классических изотропных отливок занимают промежуточное положение.



a – сравнение свойств стандартной изотропной отливки (BBS) и анизотропной, полученной на динамическом листоотливном аппарате (ДЛОА); *б* – влияние параметров формования на деформационное поведение при растяжении анизотропной структуры

Рисунок 1 – Кривые «нагрузка-удлинение», полученные при испытании на растяжение лабораторных образцов сульфатной лиственной беленой целлюлозы

На рис. 1,б представлены данные, показывающие возможность регулирования анизотропии ($TSI_{MD/CD}=4,6\dots 4,9$) и деформационных свойств получаемого лабораторного материала за счет применения форсункис отверстием заданного диаметра, используемой для напуска массы на сетку.

Эксперименты по оценке влияния скорости движения сетки [5] на анизотропию свойств показали, что увеличение скорости движения сетки при постоянном напоре подаваемой массы и постоянном диаметре форсунки в большей степени отражается на анизотропии бумаги из лиственной целлюлозы, чем из хвойной. При этом анизотропия прочности (по разрывной длине) существенно выше, чем по жесткости TSI , определяемой ультразвуковым методом.

Таким образом, использование современных технологий моделирования анизотропных волокнистых структур с применением динамического листоотливного аппарата позволяет получить лабораторные отливки с различной степенью анизотропии, приблизить свойства лабораторных образцов к бумаге промышленного изготовления и повысить конкурентоспособность разработок в области технологии бумаги и картона.

ЛИТЕРАТУРА

1 Дьякова Е.В., Гурьев А.В., Казаков Я.В., Демидов М.Л. Перспективы развития прикладных исследований в ЦБП на базе Федерального университета / Целлюлоза. Бумага. Картон. 2012. – № 2. – С.37–41.

2 Казаков Я.В. Структура и свойства лабораторных анизотропных образцов целлюлозно-бумажных материалов. / Целлюлоза. Бумага. Картон. 2013. – № 6. – С.56–60.

3 Комаров В.И., Казаков Я.В. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки / Лесной вестник МГУЛ. 2000. – № 3 – (12). – С.52–62.

4 Свид. № 2001610526. Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программное обеспечение лабораторного испытательного комплекса для оценки деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов (КОМПЛЕКС). / Я.В. Казаков, В.И. Комаров; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО АГТУ (RU). – № 2001610250 ;заявл. 11.03.2001; опубл. 10.05.2001, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

5 Казаков Я.В., Концевая В.И. Механика анизотропных лабораторных образцов целлюлозно-бумажных материалов/ В сб. «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов»: материалы II Междунар. науч.-техн. конф. // Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2013. – С. 201–207.

М.А. Баяндин, доц., канд. техн. наук,
(ФГБОУ ВПО «СибГТУ» г. Красноярск)

С.Г. Елисеев, канд. техн. наук,
(ФГБОУ ВПО «СибГТУ» г. Красноярск)

С.Н. Казицин, аспирант
(ФГБОУ ВПО «СибГТУ» г. Красноярск)

ВЛИЯНИЕ ПОРОДНОГО СОСТАВА НА ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ АКТИВИРОВАННЫХ ОПИЛОК

Применяемые в настоящее время технологии производства древесных плит имеют ряд существенных недостатков, таких как токсичность процесса производства, эмиссия токсичных веществ из готовой продукции, использование ликвидного древесного сырья (технологическая щепка, круглые лесоматериалы). В большинстве случаев вовлечение в технологии ДВП или ДСтП таких отходов, как опилки приводит к существенному снижению потребительских свойств листовых материалов.

Известны технологии [3] получения плит из опилок, предварительно подвергнутых химическим, механическим и биологическим воздействиям, но при этом во всех выше указанных способов подготовки древесины не представляется возможным получить материал плотностью менее 1000 кг/м^3 . В большинстве случаев это древесные пластики, что ограничивает их применение. Результаты проведенных ранее нами исследований указывают на то, что обработка опилок хвойных пород в гидродинамическом диспергаторе с эффектом кавитации, позволяет получить плиты средней плотности с высокими потребительскими свойствами. Это позволяет говорить о том, что такой вид обработки хвойной древесины обеспечивает высокое аутогезионное взаимодействие между частицами в процессе структурообразования плит. Однако в последнее время увеличиваются объемы производства пилопродукции из древесины лиственных пород. Наиболее широкое применение в качестве сырья на территории РФ находит древесина березы, однако, как и в случае с хвойными породами утилизация ограничивается захоронением в отвалах или их сжиганием. Поэтому изыскание путей использования измельченной древесины лиственных пород является актуальной задачей.

По мнению большинства исследователей [1,2,3], при получении плит без связующих, существенное влияние на формирование структуры материала, оказывает лигноуглеводный комплекс древесины. При этом известно [1], что данные комплексы древесины лиственных и

хвойных пород имеют существенные различие, следовательно, можно предположить, что свойства плитных материалов из активированной древесины лиственных и хвойных пород будут иметь различные физико-механические показатели. Для выяснения влияния породного состава на указанные выше характеристики материала нами проведены специальные исследования.

В качестве исходного сырья для проведения экспериментальных исследований использовались опилки сосны и березы с влажностью более 30 %, которые подвергались гидродинамической обработке, по ранее установленным в работе [4], режимным параметрам. Пакеты формировались на сетчатый поддон и подвергались предварительному отжиму в холодном прессе до влажности 100%. Подготовленная древесная масса подвергалась горячему прессованию: температура прессования – 190°C; плотность плит – 900 кг/м³, удельная продолжительность прессования 2,5 мин/мм. Результаты исследований приведены на рисунках 1 и 2.

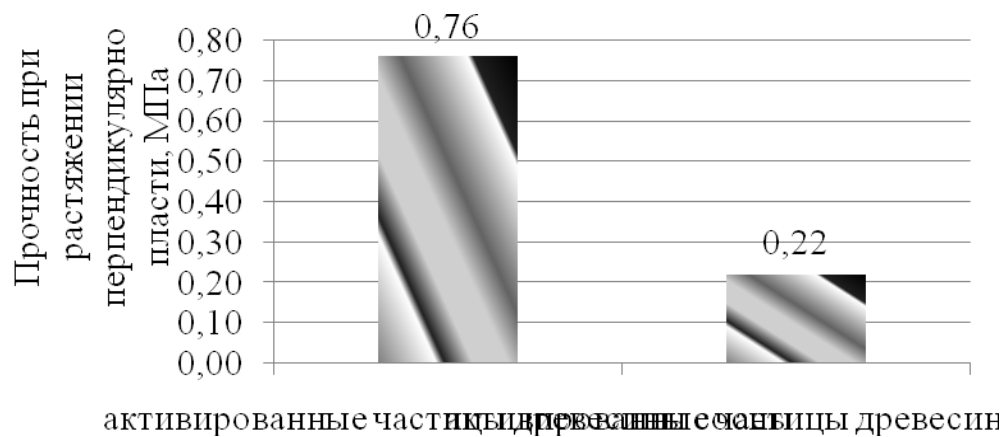


Рисунок 1 – Предел прочности при растяжении перпендикулярно древесных плит

Из полученных экспериментальных данных (рисунок 1) видно, использование древесины березы приводит к снижению прочности при растяжении перпендикулярно пласти плит более чем в 3,4 раза. Это косвенно указывает на то, что аутогезионное взаимодействие между частицами лиственной породы ниже в сравнении с хвойной. Но при этом следует отметить, что результаты указывают на совместное использование опилок различных пород с преобладанием в общей массе хвойной древесины

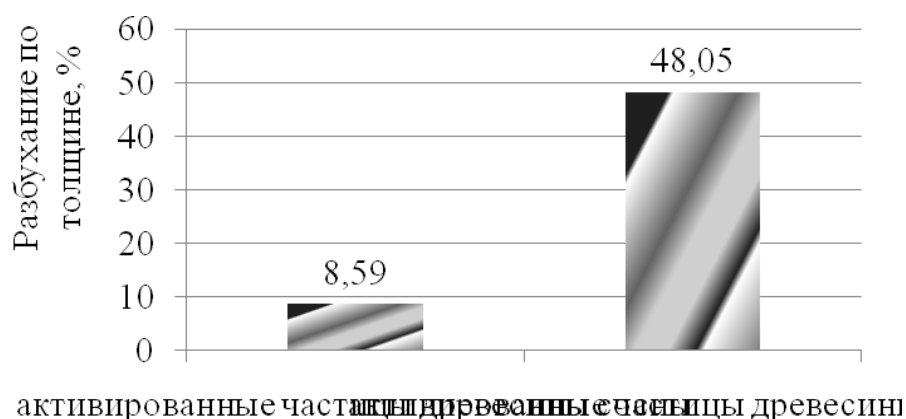


Рисунок 2 – Разбухание плит по толщине

Результаты проведенных исследований разбухания полученных плит (рисунок 2), указывают на то, что материал, полученный из древесины березы, имеет значения данного показателя 48,05%. Это так же указывает на низкое взаимодействие между частицами. В сравнении же с хвойными породами данный физический параметр практически в 6 раз ниже.

По результатам эмпирических изысканий можно сделать следующие выводы, о том, что механоактивация древесины лиственных пород не позволяет обеспечить высокие показатели физико-механических свойства древесных плит без связующего. Решением проблемы утилизации опилок лиственных пород, является их использование в технологии листовых материалов с обязательным включением в состав хвойной древесины.

ЛИТЕРАТУРА

1 Азаров, В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров: Учебник для вузов / В.И. Азаров, А.В. Буров, А.В. Оболенская. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 628 с.

2 Аккерман, А.С. Плитные материалы и изделия из древесины [Текст] / А.С. Аккерман, В.Н. Антакова, В.Е. Бабайлов /Под ред. Петри В. И. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 360с.

3 Базарнова, Н.Г. Влияние мочевины на свойства прессованных материалов из древесины, подвергнутой гидротермической обработке/ Н.Г. Базарнова, А.И. Галочкин, В.С. Крестьянников. Химия растительного сырья №2. – М. 1997. с.15–22.

4 Баяндин, М.А., Елисеев С.Г, Ермолин В. Н., Влияние механоактивации на аутогезионные свойства древесины // Хвойные бореальной зоны. - Красноярск: СибГТУ, 2013. – Т. 30. – №1–2. С. 163–169.

ПРОЧНОСТЬ ПЛИТ ИЗ ПРОПИЛЕНА И ОТХОДОВ ОКОРКИ

Сложной проблемой использования отходов переработки древесины является вопрос утилизации коры. Это связано с ее строением, которое отличается связями и структурными звеньями [1], поэтому и характеристики ее отличаются от характеристик древесных частиц.

Структура древесностружечных плит отличается от структуры плит из коры и термопластичного связующего тем, что древесные частицы в ДСтП связаны сформированной клеевой прослойкой, а частицы коры соединяются за счет матрицы термопласта. Количественные соотношения связующего разные, при использовании термопласта его гораздо больше, чем при получении ДСтП. Согласно [2] невозможно получить равномерное распределение связующего по высоте брикета, если использовать порошкообразные частицы термопластичного связующего, кроме того, возникают дополнительные технические трудности при его получении. Несколько проще получить частицы ветвистой структуры, однако его количество в плитах будет составлять не менее 20% [2]. Состав композиционных материалов на основе древесных частиц и термопластических связующих изучен [3], там он имеет название WPC (Wood-Polymer-Composites).

Поэтому требуется изучение влияния состава плит из коры и вторичного полипропилена на их свойства, особенно какова прочность получаемого композита. Как известно, кора древесины лиственницы и кора древесины сосны имеют различные механические свойства и различный состав [1]. Поэтому и требуется рассмотрение в виде совместного использования в композитах при использовании термопластов.

В качестве заполнителя использовалась кора древесины лиственницы и сосны, высушенная до воздушно сухого состояния (12%) и измельченная ударным способом до фракции, проходящей через отверстия сита 1,5 мм, насыпной плотностью 264–284 кг/м³.

В качестве термопласта использовался полипропилен 21060-02, сорт 1, ГОСТ 26996-86.ПЭТбутылки, выброшенные в мусор, измельченные резанием до частиц размером: длина 1–4 мм, ширина 1–2 мм, толщина 0,03–0,08 мм. Насыпная плотность ПП 193 кг/м³, температура плавления 165°C.

Плиты прессовались размером 250×200×10 мм, при давлении 0,5 МПа. Заданная плотность получаемых плит находилась в пределах от 820 до 970 кг/м³.

В соответствии ГОСТ 10635-88, ГОСТ10634-88, ГОСТ10636-90 определялись показатели прочности при изгибе, растяжении, плотности, водопоглощения и разбухания по толщине.

Для изучения процесса формирования свойств плит из коры в зависимости от их состава представим такую взаимосвязь в виде диаграммы состав-свойство. Для исследования диаграмм состав-свойство используем метод планирования эксперимента [4].

Факторное пространство представляет собой в нашем случае правильный треугольник. Нас интересует не вся область значений факторов, а только та, где они имеют реальные значения, т.е. на локальном участке диаграммы. В этом случае требуется произвести перенормировку и принять составы в вершинах выбранной области за самостоятельные псевдокоординаты, однако требуется для выбранной области симплекса выполнения условий, как и для полной диаграммы. С таким учетом выбраны псевдокоординаты, таблица 1.

Таблица 1 – Значения псевдокоординат

Наименование компонента	Обозначение компонента	Новые вершины компонентов (% содержание)		
		1	2	3
ПП	А	80	10	10
К _{листв}	В	10	80	10
К _{сосна}	С	10	10	80

В таблице ПП означает полипропилен, К_{листв} – кора древесины лиственницы, К_{сосна} – кора древесины сосны.

Для выбора плана и обработки результатов реализации эксперимента воспользуемся программой STATGRAPHICS, описание работы с ней изложены в [4].

На рисунке 1 представлены полученные экспериментальные значения по определению прочности исследованных образцов. Поверхность отклика для прочности имеет практически линейную зависимость изменений в зависимости от содержания компонентов. Уравнение имеет вид:

$$Y = 44,7 \cdot A + 13,7 \cdot B + 11,4 \cdot C - 2,4 \cdot A \cdot B - 2,9 \cdot A \cdot C + 3,0 \cdot B \cdot C,$$

где Y – прочность плит при изгибе, МПа.

Наблюдается монотонное увеличение прочности, по мере увеличения содержания термопласта в смеси. Причем прочность у образцов, с наибольшим количеством коры лиственницы чуть больше, чем

у образцов из коры сосны. Это связано, возможно, с тем, что твердость у частиц коры из лиственницы почти в четыре раза больше, чем у частиц коры из сосны. Хотя и прочность на сжатие коры лиственница чуть меньше, чем у коры из сосны. Наибольшая прочность достигает значения в 43 МПа, т.е. частицы коры повышают прочность при изгибе получаемого композита. Полипропилен не имеет показателя прочности при изгибе, поэтому сравнить этот показатель не с чем. Укажем, что предел текучести полипропилена при растяжении составляет не менее 34 МПа.

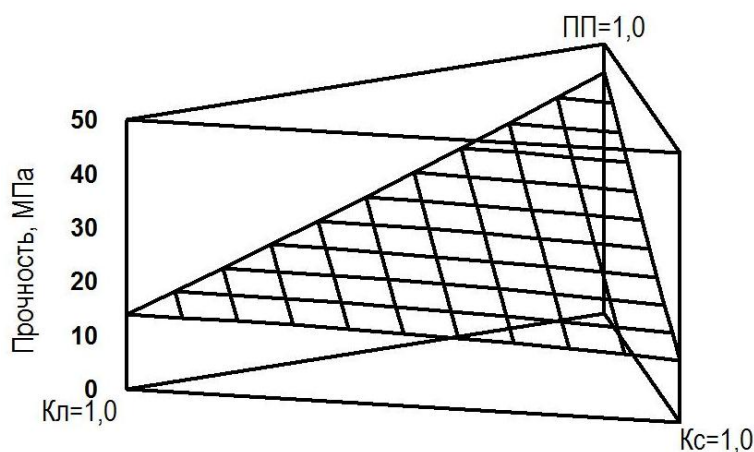


Рисунок 1 – Поверхность отклика для прочности при изгибе

На рисунке 2 представлены разность значений экспериментальной прочности (точки) и прочности, предсказанной по модели (линия). Большинство (кроме одного) предсказанных значений имеет расхождения менее 5 %.

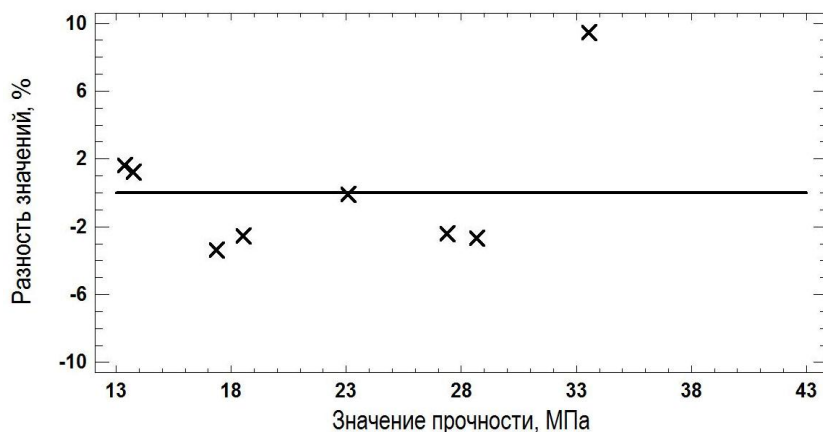


Рисунок 2 – Разностный график для прочности

По результатам проведенного исследования получено, что при плотности, равной 970 кг/м^3 комплекс наилучших свойств составляет: прочность при изгибе – 43 МПа; разбухание по толщине – 2 %; водо-

поглощение – 0,1 %; прочность на разрыв перпендикулярно пласти – 16 МПа.

Для получения таких свойств содержание компонентов составляет: ПП – 80 % по массе; кора – 20 % по массе.

Разницы в свойствах практически не наблюдается при использовании коры лиственницы и коры сосны.

Практически, если не прессовать в герметичных условиях, большей плотности у композита получить не удастся, так как при разогреве смесь становится очень пластичной и хорошо течет, не позволяя получать большую плотность. Это свойство изучаемой смеси хорошо использовать при трансферном получении изделий.

Работа выполнена в рамках госзадания по НИР1.9/2 СибГТУ 2014 г.

ЛИТЕРАТУРА

1 Веретенник, Д.Г. Использование древесной коры в народном хозяйстве / Д.Г. Веретенник, – М.: Лесная промышленность, 1976. – 120 с.

2 Савицкий, А.С. Производство древесностружечных плит на термопластичном связующем / С.В. Васильев, М.А. Терпугов, В.И. Карцовник // Плиты и фанера: сб. ст. – М.: 1991. – с 2 – 17.

3 HolzsteininnovativerWerkstoff_I // НК: Holz- und Kunststoffverarb. : Internationale Fachzeitschrift für Unternehmer und Führungskräfte. – 2006. – 41, № 7–8. – С. 22–26.

4 Дюк, В. Обработка данных на ПК в примерах / В. Дюк. – СПб.: Питер, 1997. – 240 с.

УДК 656.004.18

Д. В. Пушков, Э. О. Салминен, А. А. Борозна
(СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург)

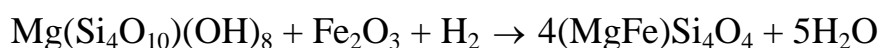
М. Т. Насковец
(БГТУ, г. Минск)

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА

В лесной отрасли используется разнообразная техника, как на технологических операциях лесозаготовок и переработки древесины, так и на транспортных операциях по доставке лесного сырья в пункты переработки и готовой продукции в сфере потребления. Надежность работы оборудования и машин имеет решающее значение для эффективной работы лесопромышленных предприятий. Выход из строя деталей и механизмов машин при нормальных условиях эксплуатации

происходит вследствие различных видов физического износа. Наиболее распространенной причиной выхода деталей и механизмов машин из строя является износ рабочих поверхностей в узлах трения. Одним из возможных путей решения проблемы многократного продления ресурса машин и механизмов является применение энергоресурсосберегающей РВС-технологии.

РВС-технология совокупность технологических операций использования ремонтно-восстановительных составов (РВС), состоящих из природных минералов и специальных добавок. РВС состоит из кристаллов минералов (серпентинит, шунгит, доломит и др.) и синтетических добавок, составляющих ноу-хау. В процессе работы механизма под действием высокой температуры и давления между РВС-частицами и кристаллами фаз металла происходит реакция:



При этом на кристаллической решетке металла происходит образование новых кристаллов. Кристаллы ориентированы вдоль поля, и срастаясь, образуют на всей поверхности пятна контакта непрерывный ряд твердых монокристаллов. Образованная таким способом поверхность, обладает уникальными свойствами и называется металло-керамическим защитным слоем (МКЗС).

Условно процесс образования МКЗС можно представить следующим образом:

1. В работающем механизме нагрузка сближает поверхности пары трения. При этом в местах контакта происходит разрыв защитных пленок, создаваемых маслом и присадками, и слом элементов микрорельефа поверхностей трения. В местах слома выступов происходят микровспышки, разрушающие масла и присадки. Эти процессы приводят к загрязнению масла и микрорельефа поверхностей трения (Рисунок 1).

2. В локальных зонах сломов при больших температурах ($t=900-1400^{\circ}\text{C}$) в присутствии частиц РВС в результате микрометаллургических процессов почти мгновенно протекает реакция замещения с образованием новых кристаллов. Так в местах выступов появляются первые пятна МКЗС (Рисунок 2)

3. В результате плотной нагартовки обеспечивается необходимый контакт частиц РВС (со специальными добавками к нему) и металлом поверхностного слоя пятна контакта. Присутствие катализаторов в процессе трения инициирует реакцию замещения атомов Mg в кристаллических решетках частиц РВС на атомы Fe поверхностных

слоев металла контактируемой детали. В результате этих реакций происходит образование модифицированного слоя (Рисунок 3).

4. Попадающие в зону трения частицы РВС модифицируются на поверхности образующегося МКЗС и выравнивают его. Толщина слоев МКЗС пропорциональна количеству частиц РВС, нагартованных в углубления микрорельефа поверхностей, и энергии, выделяемой при трении и контакте. Толщина слоя саморегулируется: при выделении определенного количества энергии от трения – МКЗС растет. В результате роста МКЗС компенсируются увеличенные зазоры, что приводит к снижению выделения энергии трения и в итоге к прекращению реакции замещения, т.е. дальнейший рост МКЗС останавливается. МКЗС не образуется на поверхностях, где трение отсутствует. Так происходит выравнивание поверхностей трения деталей машин и оптимизация зазоров в сопряжениях (Рисунок 4.)

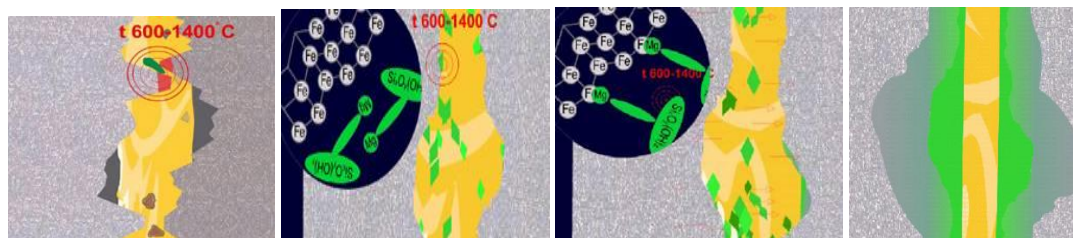


Рисунок 1

Рисунок 2

Рисунок 3

Рисунок 4

Таким образом, в результате применения РВС в паре трения происходит модификация поверхностей и увеличение реального пятна контакта, что приводит к снижению удельных давлений, облегчая работу сопряженных пар различных механизмов. При трении деталей, покрытых модифицированным слоем, значительно снижаются требования к качеству применяемых масел. Масло уже не должно выполнять функцию эффективного “третьего тела”, а лишь функцию теплоотвода.

В учебно-научной лаборатории Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета был проведен эксперимент с применением РВС-технологии. Проведение научного эксперимента проводилось на опытной установке, которая состоит из обкаточно-тормозного стенда КО-2204 и двигателя ЗИЛ-130 выпуска 1969 года. Двигатель установлен на стенде соосно с валом гидротормоза и соединен с ним эластичными муфтами. До начала эксперимента были сняты основные технико-эксплуатационные показатели – компрессия в цилиндрах и расход топлива. После снятия показателей в масляную систему двигателя ввели ремонтно-восстановительную смесь - РВС

Двигатель под нагрузкой проработал 40 часов и снова были сняты технико-эксплуатационные показатели (таблица 1 и таблица 2.)

Показания, снятые до и после обработки двигателя РВС составом:

Таблица 1 – Компрессия по цилиндрам, кгс/см²

Цилиндр	1	2	3	4	5	6	7	8
До	6,7	6	6,7	6,5	6,3	6,1	6,2	6,8
После	8,6	8,4	8,9	8,5	8,6	8	8,8	8,5

Измерения проводились таким образом: двигатель был выведен на устойчивые обороты (2000об/мин) и был максимально нагружен. Затем нагрузку постепенно уменьшали, и проводился замер количества потребляемого топлива за определенный промежуток времени. Результаты представлены в таблица 2.

Таблица 2

№	До обработки				После обработки			
	об/мин	P, кгс	устан. об/мин	Δ, гр	об/мин	P, кгс	устан. об/мин	Δ, гр
1	2000	30	950	220	2000	30	900	205
2		25	1300	245		25	1100	210
3		20	1400	270		20	1300	235
4		15-17	1460	280		15-17	1500	260
5		10-12	1680	285		10-12	1700	255

Таблица 3 – Расчетные показатели

№	Эффективная мощность N_e , л. с.	Эффективное давление кгс/см ²	Часовой расход топлива, G_T , кг/ч		Удельный расход топлива, g_e , г/э.л.с. · ч	
			до обработки	после обработки	до обработки	после обработки
			1	60	4,5	6,6
2	50	3,75	7,35	6,3	147	126
3	40	3	8,1	7,05	202,5	176,2
4	30	2,25	8,4	7,8	280	260
5	20	1,5	8,55	7,65	427,5	382,5

Как видно из показателей компрессия в цилиндрах изношенного двигателя восстановилась до нормативов, предусмотренных для нового двигателя (8,5), а экономия топлива составила при различной нагрузке от 7 до 15%.

Опыт практических работ подтверждает, что обработка по РВС-технологии оборудования, находящегося на разных этапах эксплуатации, позволяет гарантированно улучшать его технико-эксплуатационные и экологические показатели:

1. Снижать потребление электроэнергии и топлива на 2% – 15%;

2. Увеличивать межремонтный ресурс работы узлов и механизмов в 2 раза и более;
3. Обеспечивать безаварийную работу при экстремальных режимах эксплуатации – даже при полном отсутствии масел и смазок;
4. Увеличивать полезную мощность механизмов до 15%;
5. Увеличивать ресурс масел в 2 раза и более;
6. Снижать шумы и вибрации при работе механизмов;
7. Снижать вредные выбросы двигателей внутреннего сгорания.

ЛИТЕРАТУРА

1 Пушков Д.В. Применение РВС – технологий для повышения эксплуатационных качеств транспортных систем. В сб. ЛЕСА РОССИИ В XXI ВЕКЕ. Материалы девятой международной научно-технической интернет - конференции. Спб. 2012.

2 Салминен Э.О., Пушков Д.В., Борозна А.А. Использование нанотехнологий для снижения энергоемкости и повышения надежности работы машин и оборудования в лесном комплексе. М. МГУЛ. 2012.

УДК 674.047

П.В. Билей, проф., д-р техн. наук,
И.А. Соколовский, доц., канд. техн. наук
П.П. Билей, аспирант,
А.М. Комбаров, аспирант

(Национальный лесотехнический университет Украины, г.Львов)

АСПЕКТЫ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ НАЧАЛЬНОГО ПРОГРЕВА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ПЕРЕД СУШКОЙ

Начальный прогрев пиломатериалов (заготовок) перед сушкой является важным технологическим процессом, позволяющим подготовить материал к последующему процессу сушки. В процессе начальной тепловой обработки материала необходимо иметь большой запас тепловой мощности агрегатов тепловой энергии потому, что в процессе начального прогрева древесины затраты тепловой энергии в 3–5 раз превышают удельные затраты тепловой энергии на процесс сушки. Поэтому снижение затрат энергии на начальный прогрев материала является актуальной проблемой.

Существующая технология начального прогрева пиломатериалов перед сушкой предполагает такие режимы. Температура среды в процессе начального прогрева должна быть на 5...8°С выше, чем первая ступень режима сушки. Таким образом можно добиться того, что в начальный период процесса сушки в древесине сохранится положи-

тельный градиент температуры, который обеспечит интенсивность выделения влаги из поверхностных слоев древесины. Далее температура древесины выравнивается по всему объему и, при низкотемпературном процессе сушки, градиент температуры существенного влияния на интенсивность выделения влаги не оказывает. Относительная влажность воздуха (как наиболее распространенного агента обработки) принимается в пределах $W=82\ldots 96\%$ в зависимости от начальной влажности материала.

В зависимости от назначения материала применяются разные способы сушки, наиболее распространенных из которых (около 95%) является конвективный способ. В различных технологических процессах деревообработки начальный прогрев материала преследует различные цели. Классическим способом является начальный прогрев пиломатериалов (заготовок) непосредственно перед процессом сушки. Начальный прогрев в процессах гнутья в производстве бондарных, обозных изделий, в производстве гнутых элементов мебели или спортивного инвентаря предполагает начальный прогрев в виде пропаривания в автоклавах, барабанах или в другом оборудовании. Некоторые древесные породы, такие как бук, в процессе хранения могут подвергаться грибным заболеваниям, что ведет к значительным потерям ценной древесины. Такие древесные породы подвергают тепловой стерилизации - пропариванию. После пропаривания не только возрастает стойкость древесины к грибным заболеваниям но и уменьшается их гигроскопичность (склонность к адсорбции влаги), а также уменьшается их влажность и соответственно издержки на последующий процесс сушки. Кроме того, в процессе пропаривания можно, например, для бука, изменить цвет древесины от светло-желтых тонов к черно-коричневым.

Тепловая обработка древесины является сложным теплообменным процессом на течение которого влияют как параметры среды (температура, влажность, плотность, вязкость, скорость передвижения), так и теплофизические свойства древесины (влажность, плотность, удельная теплоемкость, температура, теплопроводность, порода древесины и другие характеристики). Если параметры среды поддаются регулированию, то теплообменные процессы в древесине изменчивы как во времени, так и в пространстве.

Рассмотрим физико-математическую модель процесса нагревания неограниченной пластины (пиломатериалов, где ширина больше трех толщин, то есть $S_2 \geq 3S_1$, а длина (L) пиломатериалов больше 5 ширин, то есть $L \geq 5S_2$). Предполагаем, что начальная температура древесины $t_0 > 0^\circ\text{C}$ и равномерно распределена по сечению материала, а также, что температура среды постоянна во времени ($t_c = \text{const}$). За счет

теплоотдачи среды начинают нагреваться поверхностные слои материала. Допустим, что за небольшой промежуток времени ($d\tau$) изотерма переместилась на глубину (x) от поверхности материала и обрела значение (t_x). Количество теплоты (dQ), которая расходуется, на нагревание единицы объема материала за единицу времени можно описать таким дифференциальным уравнением

$$\frac{dQ}{d\tau} = q_n \frac{F \cdot dx}{d\tau}, \quad (1)$$

где $F \cdot dx$ – единица объема материала, м^3 ; q_n – удельные затраты теплоты, $\text{Дж}/\text{м}^3$; F – поверхность материала, м^2 .

С другой стороны теплота в середине материала распространяется согласно закону теплопроводности

$$\frac{dQ}{d\tau} = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} \cdot F, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$; dt – разница температур, $dt = t_c - t_x$, °C ; dx – глубина на которую переместилась изотерма, то есть $dx = x$.

Сопоставив это уравнение, опустив знак минус и решив их относительно $d\tau$, получим

$$d\tau = \frac{q_n}{\lambda \cdot (t_c - t_x)} \cdot x \cdot dx. \quad (3)$$

Проинтегрировав это уравнение и решив его относительно (t_x) получим расчетную зависимость

$$t_x = t_c - \frac{2\lambda \cdot \tau_n}{q_n \cdot x^2}. \quad (4)$$

Таким образом, за формулой (4) можно найти значение температуры на глубине (x) от поверхности за определенное время нагревания – τ_n .

На практике необходимо знать какую будет иметь температуру древесина в центре сортимента, что можно определить проводя экспериментальные исследования, где переменными факторами (для одной породы) будут: температура среды – t_c ; влажность древесины – W и толщина материала – S_1 . Эмпирические зависимости, наиболее адекватно аппроксимирующие экспериментальные данные будут для данной температуры среды и толщины материала иметь вид

$$t_c = t_0 + (A \cdot \tau^n \cdot e^{-m\tau}) \cdot k_w, \quad (5)$$

где A , m – коэффициенты уравнения; n – показатель степени; k_w – коэффициент учитывающий влажность древесины.

Если известными являются значения плотности древесины (ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$) при данной начальной влажности (W , %) средняя удельная

теплоемкость древесины (\bar{c} , кДж/(кг·°С)) и диапазон изменения температур (Δt , °С) то количество тепловой энергии нужной для нагревания 1 м³ пиломатериалов можно найти по формуле

$$Q = \rho \cdot \bar{c} \cdot \Delta t. \quad (6)$$

Диапазон изменения температуры (Δt) желательно разделить на временные интервалы ($\Delta \tau$), что будет способствовать выравниванию температуры древесины по всему сортименту и существенно снизит внутренние напряжения, возникающих из-за градиента температур по толщине материала. Отношение ($\Delta t / \Delta \tau$) нужно подбирать таким образом, чтобы тепловая мощность начального прогрева пиломатериалов не превышала значение 3...4 кВт/м³. В результате такого подхода получим ресурсосберегающую технологию начального прогрева пиломатериалов перед сушкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серговский П.С., Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. – М.:Лесная пром-сть. 1987. – 360 с.
2. Білей П.В., Кунинець Є.П., Соколовський І.А. та інші. Теорія теплової обробки деревини (монографія). – Львів, 2012. – 200 с

УДК 676.0

В.А. Житнюк, главный технолог,
(Группа предприятий «ПЦБК», г. Пермь)
Е.С. Ширинкина, канд. техн. наук
(ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет», г. Пермь)
Я.И. Вайсман, проф., д-р мед. наук
(ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет», г. Пермь)

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Технология переработки макулатурной массы является многоступенчатым процессом, включающим в себя несколько стадий очистки макулатуры от посторонних включений, подготовку макулатурной массы к формованию, формовку, проклейку, сушку, отделку и упаковку готовой продукции. С целью получения макулатурной массы определенной концентрации в процессах массоподготовки используется большое количество свежей и оборотной воды. В ходе анализа производственного процесса картонно-бумажного цеха №2 (КБЦ №2) Группы предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания (ГП «ПЦБК»), было установлено, что потребление воды на тонну готовой продукции составляет порядка 25 м³. При этом, образующаяся подсе-

точная вода и технологические воды от промывки оборудования частично используются в системе оборотного водоснабжения после отстаивания в специальных емкостях, а остальной поток, характеризующийся высоким содержанием взвешенных веществ в виде макулатурного волокна (до 2800 мг/л) и крахмала (до 300 мг/л) поступает на общезаводские очистные сооружения, после чего направляется на сброс.

В ходе оценки эффективности работы очистных сооружений были установлены высокие значения ХПК (до 1700 мг/л) и БПК_{полн} (до 530 мг/л) в очищенных сточных водах, при нормах ХПК – не более 30 мг/л, БПК_{полн} – не более 6 мг/л [1]. Низкая эффективность очистки обусловлена длительностью процессов биологического разложения волокна и крахмала, что приводит к сверхнормативному воздействию на природные водные объекты при отведении стоков. В связи с чем, необходима разработка комплексной ресурсосберегающей технологии переработки макулатурной массы, обеспечивающей не только максимальное использование вторичного волокна и крахмала в производстве товарной продукции, но и позволяющей минимизировать нагрузку на водные экосистемы за счет сокращения сброса высококонцентрированных сточных вод и сокращения изъятия свежей воды на технологические нужды.

Исследования проводились на производственной базе КБЦ №2 и испытательной лаборатории ГП «ПЦБК». В ходе исследований разрабатывались мероприятия по повышению эффективности удержания волокна и крахмала в макулатурной массе, с целью сокращения их содержания в образующемся стоке, путем подбора оптимальной комбинации удерживающих реагентов.

На первом этапе была исследована эффективность применения 28 вариантов удерживающих систем различных компаний-поставщиков на пробах бумажной массы из напорного ящика нижнего слоя бумагоделательной машины КБЦ №2 и подсеточной воды.

Результаты исследований (для проб с наилучшими показателями) представлены в таблице 1.

Как видно из представленных данных, подача реагентов в макулатурную массу позволит не только повысить технологические показатели процесса производства (снизить нагрузку на пресс за счет улучшения водоотдачи макулатурной массы), но и сократить потери волокна и крахмала со сточными водами, максимально удержав вторичное волокно и крахмал на бумажном полотне. Кроме того, было достигнуто повышение механических характеристик готовой продукции, при том же расходе окисленного крахмала на проклейку бумажного

полотна. На основании полученных данных было сделано предположение, что обработка макулатурной массы реагентами наряду с повышением удержания волокна и водоотдачи массы повлияла на свойства нативного крахмала, содержащегося в макулатуре, в результате чего нативный крахмал принял участие в образовании дополнительных связей между волокнами. Полученный эффект требует дальнейшего изучения и, в случае подтверждения полученных данных в ходе опытно-промышленных выработок позволит сократить расход окисленного крахмала на проклейку бумажного полотна. На втором этапе исследований были проведены опытно-промышленные испытания производства товарной продукции из макулатурной массы, обработанной удерживающими реагентами. В ходе исследований определялось изменение содержания волокна и крахмала в отводимых сточных водах при выпуске готовой продукции без предварительно обработки макулатурной массы и после обработки массы реагентами. Результаты исследований представлены на рисунке 1.

Как видно из представленных данных, в ходе опытно-промышленных испытаний также было достигнуто снижение содержания волокна и крахмала в сточных водах (на 30–50%).

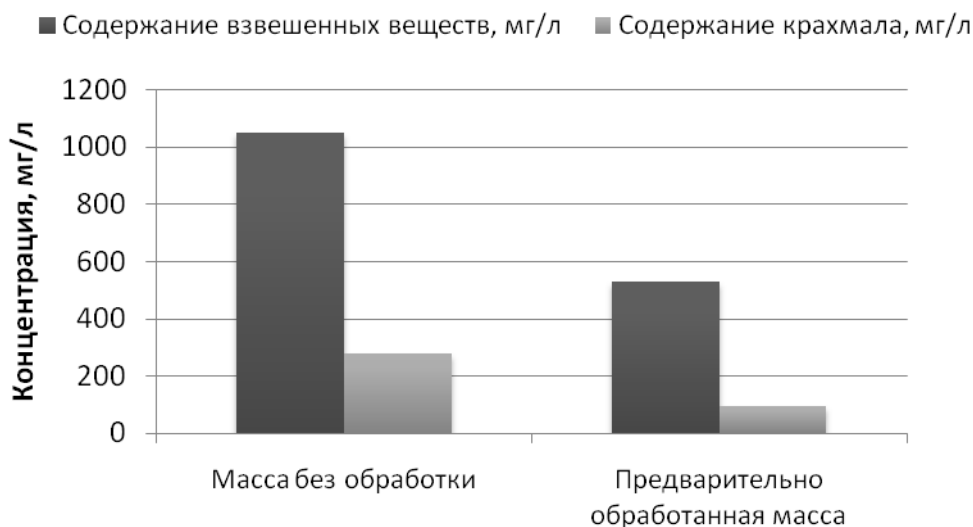


Рисунок 1 – Содержание взвешенных веществ и крахмала в сточной воде до и после применения удерживающей системы

Кроме того, было достигнуто сокращение расхода окисленного крахмала в среднем на 20% при сохранении прочностных характеристик готовой продукции на прежнем уровне.

Таблица 1 – Результаты исследований бумажной массы и подсеточной воды (фильтрата) при внесении удерживающих систем

Номер поставщика	Наименование пробы/показателя	Время обезвоживания макулатурной массы			Катионная потребность, мг-экв/л	Содержание взвешенных веществ, мг/л	РН фильтрата	Мутность фильтрата, FTU	Оптическая плотность	Содержание крахмала, мг/л	Механические показатели отливок бумажного полотна, 140 г/м ²		
		200 мл	300мл	400 мл							Сопротивление продавливанию, кПа	Излом, число двойных перегибов	Разрушающее усилие при сжатии кольца, Н
1*	Холостая проба	19	67	140	146	365	7,38	700	1,25	464	330	44	215
	Контрольная проба	10,5	28,9	58,7	126	263	7,32	216	0,38	359	350	61	235
2**	Холостая проба	17,6	46,9	95,9	212	550	7,8	775	1,25	783	324	37	222
	Контрольная проба	9,5	25,1	49,8	202	373	7,5	600	1,0	747	344	57	233
3***	Холостая проба	6,4	15,4	29,6	140	-	7,07	660	1,10	506	329	83	197
	Контрольная проба	6,9	16,8	29,5	90	-	7,07	294	0,48	247	345	80	211

Наилучшие результаты были получены:

* при обработке макулатурной массы двухкомпонентной системой, состоящей из высокомолекулярного катионного полимера с дозировкой 1 кг/т, и высокомолекулярного поливиниламина с расходом 1,0 кг/т.

** при обработке макулатурной массы однокомпонентной системой, состоящей из катионного полиакриламида с дозировкой 0,400 кг/т.

*** при обработке макулатурной массы двухкомпонентной системой, состоящей из катионного коагулянта с дозировкой 1,1 кг/т и катионного флокулянта с дозировкой 3,0 кг/т.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Введение удерживающих реагентов в макулатурную массу перед ее подачей на бумагоделательную машину обеспечит повышение удержания волокна и крахмала в бумажной массе и снижение их содержания в сточной воде на 30-50%.

2. Повышение водоотдачи макулатурной массы в процессе формования позволит снизить нагрузку на прессовальное оборудование и увеличить скорость работы бумагоделательной машины.

3. Повышение механических показателей готовой продукции при использовании удерживающих систем может быть обусловлено образованием дополнительных связей нативного крахмала с волокном, что обеспечит снижение расхода окисленного крахмала в технологическом процессе до 20%.

ЛИТЕРАТУРА

1 Житнюк В.А., Ширинкина Е.С., Вайсман Я.И., Белкина Е.В. Повышение эффективности технологического процесса производства бумажной продукции из макулатуры путем применения систем удержания-обезвоживания волокна// Целлюлоза. Бумага. Картон. – № 7 – 2014 – с. 62–68.

УДК 674.81

А.И. Криворотова, доц., канд. техн. наук,
В.М. Ушанова, проф., д-р техн. наук,
О.А. Усольцев, студент
(ФГБОУ ВПО «СибГТУ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ОКОРКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Комплексное использование древесины включает в себя и утилизацию всех отходов возникающих в процессе ее переработки. На первоначальном этапе переработки древесины образуется первый вид отходов – кора. Доля коры у разных пород древесины неодинакова и составляет примерно от 6 до 25% объема ствола. Химический состав коры мало отличается от химического состава древесины, но содержание минеральных веществ в коре выше. В коре содержится значительно меньше целлюлозы, но имеются водорастворимые экстрактивные вещества (до 30% в хвойных породах).

Существует множество способов утилизации коры. Кору перерабатывают на удобрение, используют в качестве топлива, использу-

ют для изготовления топливных брикетов, химически перерабатывают для получения биологически активных, дубильных, красящих и прочих ценных продуктов. Наиболее экономически выгодной является схема ступенчатой переработки коры.

Экстрактивная переработка коры с получением дубильного экстракта может осуществляться различными способами: холодной и горячей водой, гексаном, изопропанолом и т.д. Твердый остаток коры после экстракции чаще всего используется для производства удобрений.

Традиционно для производства древесно-полимерных композитов (ДПК) используется древесная мука хвойных и лиственных пород древесины. Проведенный патентный анализ показал отсутствие данных об изготовлении древесно-полимерных материалов из отходов деревообрабатывающих производств, в том числе из коры.

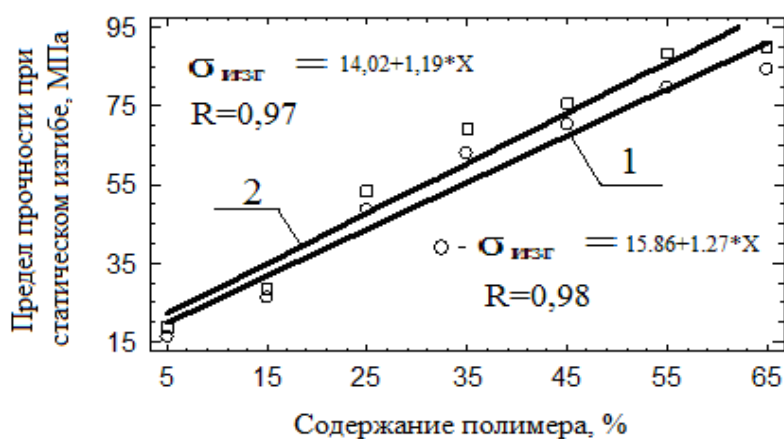
Разработка способа применения коры после экстрактивной обработки для производства древесно-полимерных композитов является интереснейшим и перспективным направлением исследований. Стоимость коры уже заложена в себестоимости готовой продукции предприятия. Организация производства древесно-полимерного композита не требует значительных затрат.

В данной работе рассмотрена возможность получения древесно-полимерных материалов из твердого остатка коры хвойных пород после экстракции. Для исследований применялась кора лиственницы и пихты сибирской, а также смесь коры хвойных пород. В качестве полимеров были использованы отходы полимеров бытового поливинилхлорида и полистирола.

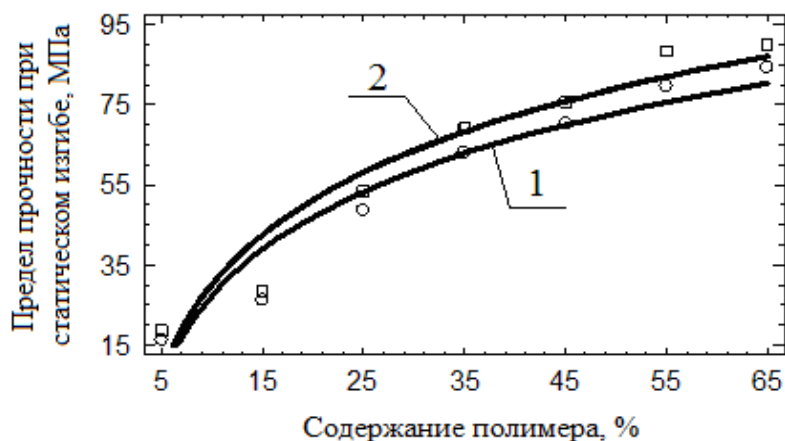
В данной работе определение оптимального режима прессования древесно-полимерных композиций на основе измельченной коры и полимеров производилось согласно V^3 плану. Оптимизация параметров режима прессования древесно-полимерных композиций проводилась методом прямого поиска. После анализа графической интерпретации уравнения регрессии с использованием программы Statgraphics и проведения оптимизации был принят следующий режим прессования для ДПК на основе коры хвойных пород и применяемых полимеров: давление прессования 4,0 МПа, удельная продолжительность прессования 3,6 мин/мм, температура прессования 195°C.

С целью определения соотношения коры и полимера в композиции были запрессованы образцы, содержащие различные количества полимера и коры. Результаты испытаний приведены на рисунке 1. Как видно с увеличением количества добавляемого в композицию поли-

мера увеличивается прочность древесно-полимерного материала. Однако значительное увеличение прочности наблюдается при добавлении полимера до 45%, рисунок 2. Увеличение содержания полимера от 5 до 45% приводит к увеличению прочности на 60 МПа. При дальнейшем увеличении содержания полимера от 45 до 65% прочность увеличивается от 5 до 15 МПа. Таким образом, прочность соответствующая стандарту для древесно-полимерных материалов на основе коры хвойных пород достигается при содержании полимера от 35 до 45%. Для дальнейших исследований выбрано содержание полимера равное 40%.



ДПМ на основе: 1 – поливинилхлорида; 2 – полистирола
Рисунок 1 – Влияние содержания полимера на прочность ДПМ при статическом изгибе



ДПМ на основе: 1 – поливинилхлорида; 2 – полистирола
Рисунок 2 – Влияние содержания полимера на прочность ДПМ при статическом изгибе

В результате дальнейших исследований установлено: увеличение содержания полимера в древесно-полимерной композиции приво-

дит к увеличению ее плотности, что является вполне обоснованным, так как плотность применяемых полимеров выше плотности коры, и к уменьшению водопоглощения и разбухания. Следует также отметить, что исследованные свойства представленных древесно-полимерных материалов на основе коры хвойных пород соответствуют требованиям стандарта для древесно-полимерных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Веретенник Д.Г. Использование древесной коры в народном хозяйстве. – М.: Лесная промышленность. 1976. – 120 с.

2 Криворотова А.И., Довбыш Ю.М. Получение древесно-полимерных композиций на основе коры хвойных // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований «2013». – Выпуск 1. Том 43. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – ЦИТ: 113–1079. – С. 76–78

3 Патенты РФ № 2484110, 2013 и № 2010815, 1994.

УДК 658.562:504.5

Т.М. Владимирова, доц., канд. техн. наук,
С.И. Третьяков, проф., канд. техн. наук
(Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, РФ)

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ В ЦЕЛЯХ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Главными направлениями природоохранной деятельности, обеспечивающими кардинальное решение многих проблем, являются предотвращение деградации природной среды путем развития безотходных и ресурсосберегающих технологий и экологически чистых производств, а также удовлетворение потребностей в природных ресурсах на основе производства заменителей природных материалов, использования нетрадиционных и неисчерпаемых видов энергии. Специфика данной деятельности, во-первых, состоит в том, что эффект от нее, как правило, носит комплексный характер, и выражается в достижении положительных экологических, экономических и социальных результатов, четкая оценка которых не всегда возможна. Во-вторых, экологический эффект часто сопровождает проведение тех или иных экономических мероприятий, и его также трудно учесть. Природоохранная деятельность включает целый комплекс направле-

ний, реализация которых невозможна без широкого применения методов статистического анализа факторов, оказывающих влияние на окружающую среду.

Организации всех видов собственности все больше стремятся к достижению и демонстрации высокой экологической результативности, контролируя воздействия на окружающую среду своей деятельности, продукции или услуг в соответствии с разработанной организацией экологической политикой и целями. Достижение улучшения экологической результативности возможно путем разработки и внедрения в организации системы экологического менеджмента, согласно требованиям стандарта ГОСТ Р ИСО 14001-2007 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению» [1]. Основными инструментами экологического менеджмента, определенными в стандарте ГОСТ Р ИСО 14001-2007, являются: экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую природную среду; экологический аудит; экологический контроль; экологическая сертификация; экологическая отчетность; экологический мониторинг; экологическая маркировка и реклама. Применение этих инструментов невозможно без использования статистических методов.

Статистические методы используют при измерении, описании, анализе, интерпретации и моделировании изменчивости процессов даже при наличии относительно ограниченного количества данных. Статистический анализ этих данных может способствовать лучшему пониманию характера, степени и причин изменчивости, что может помочь в решении и даже предотвращении проблем охраны окружающей среды.

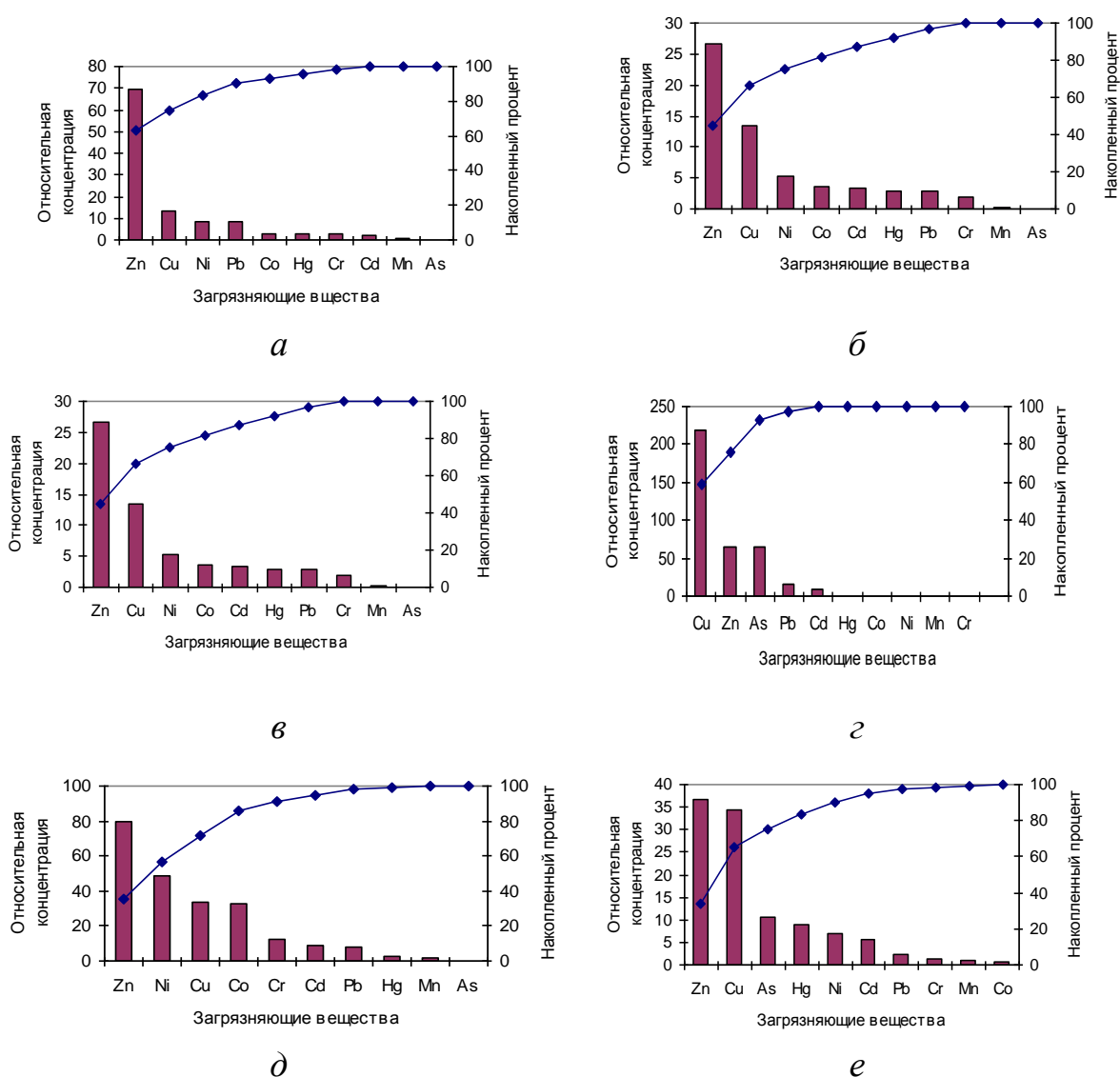
Для большинства статистических методов [2] описательная статистика составляет наиболее важную часть. Выбор метода зависит от конкретных обстоятельств и поставленной цели. Метод описательной статистики используют для общего рассмотрения и описания данных. Он является начальным шагом при анализе количественных данных и использовании других статистических процедур, поэтому его следует рассматривать как необходимый компонент статистического анализа.

Информация, представляемая описательной статистикой, часто может просто и эффективно передаваться с помощью различных графических способов:

- диаграмм, отражающих тенденции изменения наблюдаемой характеристики во времени;
- графиков относительного разброса двух переменных, когда значение одной из них откладывается по оси x , а соответствующее значение другой – по оси y ;

– гистограмм, отражающих распределение наблюдаемых характеристик [3].

Так, например, для анализа исследования состояния почвы по санитарно-химическим показателям на содержание таких веществ как медь, цинк, никель, свинец, кадмий, хром, марганец, ртуть, кобальт, на территориях городов Архангельск, Северодвинск, Новодвинск, Котлас, Коряжма, Мирный [4] использовали построение диаграмм Парето (рисунок 1).



a – Архангельск, *б* – Новодвинск, *в* – Котлас, *г* – Северодвинск, *д* – Мирный, *е* – Коряжма

Рисунок 1 – Диаграммы Парето для относительных концентраций загрязняющих веществ в разрезе территорий Архангельской области за 2013 год

Полученные диаграммы, не только позволяют определить превышение ПДК загрязняющих веществ (в г. Северодвинске по содержанию меди), но и помогают определить вещества представляющие наибольшую опасность для почвы конкретного города, то есть могут применяться для оценки опасности почвы. Для анализа результатов наблюдений за содержанием техногенных радионуклидов в приземной атмосфере использовали статистический метод построения графиков. Среднемесячные значения суммарной бета-активности радиоактивных аэрозолей приземного слоя атмосферы в городах Архангельск, Северодвинск и Нарьян-Мар были на одном уровне и изменялись в пределах $(2,4-8,7) \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ (рисунок 2) [3].

Графические способы, которые могут быть использованы для анализа и представления данных, достаточно разнообразны: это и простые методы построения гистограмм, круговых диаграмм, и методы представления более сложного характера, использующие многомерную графику с несколькими переменными (так называемые вероятностные графики).

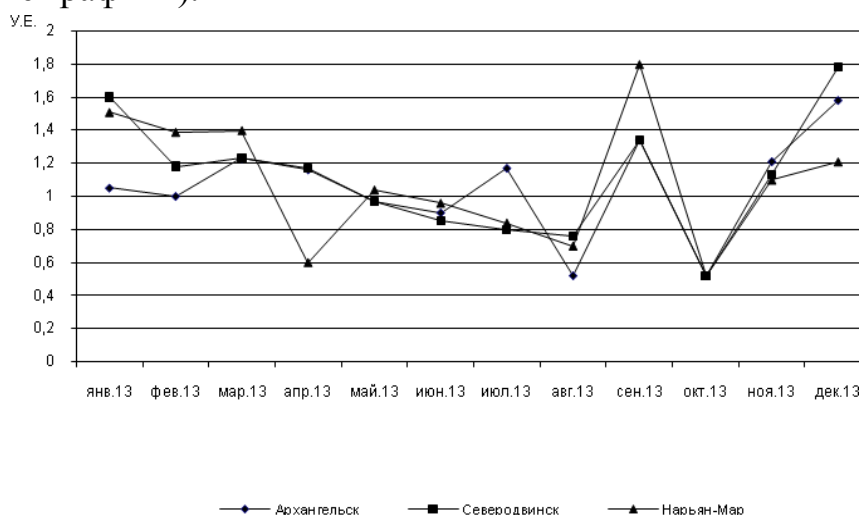


Рисунок 2 – Среднемесячные концентрации радиоактивных аэрозолей в 2013 году

Таким образом, использование графических методов помогает выявить необычное поведение данных, которое непросто обнаружить при количественном анализе экологических параметров. Статистические методы позволяют лучше использовать данные мониторинга для принятия решения по улучшению процесса контроля объектов окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1 ГОСТ Р ИСО 14001-2007. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.- М.: Стандартинформ, 2007. – 22 с.

2 ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005. Статистические методы. Руководство по применению в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001.-М.: Стандартиформ, 2005. – 20 с.

3 Применение статистических методов контроля и управления качеством технологических процессов, продукции и услуг: учеб. пособие/ В.И. Комаров, Т.М. Владимирова, В.И. Жабин, В.В. Заляжных, А.Е. Коптелов, С.И. Третьяков.-Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2009. – 179 с.

4 Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2013 год: [сборник]/ Мин-во прир. ресурсов и лесопром. комплекса Арх. обл., Центр природопол. и охр. окр. среды; [отв. ред.: Чулков А.В.]. – Архангельск: Мин-во прир. ресурсов и лесопром. комплекса Арх. обл., 2014. – 385 с.

УДК 502.174.1:676

А.С. Смолин, Р.О. Шабиев, Н.П. Мидуков
(СПбГТУРП, Санкт-Петербург, Россия)

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНА

Развитие технологии и оборудования в производстве бумаги и картона на основе вторичных волокон направлено, главным образом, в сторону снижения различия по прочности между макулатурными материалами и бумагой и картоном из свежих волокнистых полуфабрикатов. Разница в прочности полностью не может быть преодолена, поскольку вторичные волокна всегда более деструктурированы, чем свежие, и менее способны к образованию связей из-за проблем с ороговением. Однако существуют либо могут быть разработаны методы снижения упомянутых различий, что, естественно, приводит к улучшению эксплуатационных характеристик и расширению ассортимента материалов на основе вторичных волокон. Среди подобных методов, прежде всего, следует отметить широкое использование химических реагентов из класса связующих для интенсификации межволоконного связеобразования и, как следствие, увеличение показателей прочности. В качестве связующих используется целый ряд химических реагентов, как правило, полимерного характера. К ним следует отнести соединения следующих видов:

- Крахмал и его производные, карбоксиметилцеллюлоза и другие эфиры целлюлозы;
- Полиакриламиды различных видов, поливиниловый спирт, поливинилацетаты, полиоксиэтилен, полиакрилаты, полиимины;

– Полиамидные смолы с эпихлоргидрином, поливиниламины, полиэлектролитные комплексы.

Представители реагентов этих видов достаточно широко используются в настоящее время в составе различных химических технологий. Они выполняют с большей или меньшей эффективностью функции не только упрочнителей, но и регуляторов формования, обезвоживания, удерживаемости, водостойкости и влагопрочности, поверхностной прочности и других важных параметров процессов и свойств готовых материалов. Их использование возможно в виде добавок в массу и с поверхности, индивидуально и в сочетании с другими реагентами, например, с нейтрализаторами катионной потребности и веществами, влияющими на электрокинетический потенциал [1]. Достаточно перспективными представляются технологии сочетания катионных и анионных полиэлектролитных комплексов и введение химических реагентов на носителях на основе микро- и нановолокон.

Особое значение использование эффективных связующих приобретает в производстве материалов на основе вторичных волокон [2]. Зачастую именно использование химикатов является наиболее доступным и выгодным экономически способом приближения показателей прочности к уровню материалов на основе свежих волокон. Потенциал повышения прочности при добавке эффективных реагентов или их систем в условиях оптимальной технологии можно оценить в 15–20%.

Другим возможным путем повышения прочности материалов на основе вторичных волокон является дозирование в композицию вторичных волокон свежего волокнистого полуфабриката, заведомо более прочного, чем используемая макулатура. Естественно, от количества дозируемого свежего волокна зависит уровень повышения прочности материала. Особенно эффективна добавка свежего волокна при условии многослойного формования картона, поскольку в этом случае появляется возможность оптимизации композиции по слоям картона [3].

Введение в композицию свежих волокон позволяет снизить отрицательное влияние цикличности использования макулатуры. Это связано с тем, что в каждом цикле переработки материалов, имеющих в составе свежее волокно, всегда будет присутствовать какое-то количество волокон, для которых переработка всегда будет первой. Хорошо известно, что цикличность, т.е. снижение бумагообразующих характеристик вторичных волокон при увеличении количества циклов использования, является одной из основных причин снижения показателей прочности материалов на основе макулатуры. Экономически целесообразное дозирование свежего волокна увеличивает прочность готового материала на 20–25%.

Самым эффективным, но, к сожалению, наиболее затратным путем является создание специальных технологических потоков по производству бумаги и картона на основе вторичного волокна. При этом очень вероятно, что модернизация основного оборудования, а также использование бывших в употреблении бумаго- и картоноделательных машин и их перепрофилирование никогда не будет столь же эффективным путем, как установка новых профильных специализированных бумаго- и картоноделательных машин и систем массоподготовки.

Для современных цехов и заводов по производству макулатурной массы характерными чертами являются наличие сортирующих гидроразбивателей, систем сортирования с возможно полным удалением неволокнистых включений, фракционирования, оптимальных систем размола с подбором соответствующей гарнитуры и точно регулируемой удельной нагрузкой. Основным целевым назначением массоподготовительных отделов должно являться не только обеспечение требуемой производительности, но и достижения качества волокнистой массы, потенциально возможного для вторичного волокна.

Для картоноделательных машин неперенным условием увеличения прочности материала является многослойное формование. Многослойные материалы при сравнимой композиции всегда прочнее однослойных. При выпуске картона на основе вторичных волокон этот тезис подтвержден неоднократно и многослойное формование дает значительно больший эффект в сравнении с более прочной композицией.

Весьма эффективным для композиций на основе вторичных волокон являются прессовые части с одним или несколькими прессами с широкой зоной прессования. При этом наряду с увеличением прочности благодаря уплотнению волокон во влажной среде появляется возможность достижения требуемой сухости с сохранением на определенном уровне толщины материала, что крайне важно для обеспечения показателей жесткости картона.

Значительно расширяет возможности повышения качества бумаги и картона на основе вторичного волокна работа современного наносящего устройства – пленочного клеильного пресса. Эффективные клеевые системы не только решают вопросы водостойкости и поверхностной прочности, но и способствуют упрочнению материала в целом благодаря диффузии связующего реагента на достаточную глубину внутрь наружных слоев бумаги и картона и образованию дополнительных межволоконных связей.

Возможный потенциал увеличения показателей прочности и жесткости материалов на основе вторичных волокон благодаря созданию современных технологических потоков может составить 35-40%.

Таким образом, существуют вполне достижимые рациональные пути значительного повышения физико-механических показателей материалов на основе вторичного волокна и приближения этих показателей к характеристикам подобных материалов на основе свежих волокон.

ЛИТЕРАТУРА

1 Смолин А.С., Шабиев Р.О. Комплексные исследования электрокинетических явлений в гидросуспензиях растительных волокон // Лесной журнал. 6. 2011. – С. 124–133.

2 Ванчаков М.В. Технология и оборудование для переработки макулатуры: учебное пособие. Ч. I. / 2-е изд-е, испр. и доп. // СПб : изд-во СПбГТУРП. 2011. – 99 с.

3 Шрайнер Т. и др. Влияние дозировки свежего волокна на показатели прочности и жёсткости трёхслойного тест – лайнера // Целлюлоза. Бумага. Картон. 3. 2013. – С. 60–65.

УДК 676.164.8

В. А. Удальцов, аспирант
(СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург)

Е. Г. Смирнова, доц., канд. техн. наук
(СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург)

Г. А. Пазухина, проф., д-р техн. наук
(СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург)

ЦЕЛЛЮЛОЗА ИЗ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЁЗЫ, ПОЛУЧЕННАЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВАРКОЙ В СИСТЕМЕ ГИДРОКСИД КАЛИЯ – ГИДРАЗИН – ИЗОБУТИЛОВЫЙ СПИРТ – ВОДА

Ужесточение требований к охране окружающей среды, истощение природных ресурсов и обострение экономических проблем приводят к поиску и разработке новых технологий для снижения техногенного воздействия на окружающую среду. В качестве альтернативы существующим способам варки целлюлозы с использованием соединений натрия предложены способы варки с применением гидроксида калия [1, 2]. Делигнификация растительного сырья в среде гидроксида калия имеет неоспоримое преимущество – возможность утилизации отработанных щелоков в виде органоминеральных удобрений. В результате исследований влияния чёрного щёлока, полученного от варки соломы с КОН, на почву, установлено, что богатый органикой и калием щёлок улучшает качество почвы без снижения урожайности сельскохозяйственных культур [3]. На предприятиях исключаются технологические операции по регенерации щелоков: в частности,

сжигание в СРК и прокаливание извести в ИРП, что приводит к резкому сокращению выбросов CO₂.

Помимо основного делигнифицирующего реагента – гидроксида калия, в разработанную комплексную варочную систему [4] входят гидразин и изобутиловый спирт. Гидразин (H₂N-NH₂) – это щелочной реагент и восстановитель. Он ускоряет процесс делигнификации, защищает углеводные компоненты от реакции отщепления (“*peeling*”), и таким образом, повышает выход целлюлозы из растительного сырья. Изобутанол ограниченно смешивается с водой, не растворяет гидроксид калия и гидразин, а после варки варочная система, содержащая изобутанол, легко разделяется на два слоя, позволяя использовать изобутиловый спирт для последующей варки.

Разработанный способ варки является двухступенчатым [4]. Первая ступень заключается в пропитке древесной щепы высококонцентрированным водным раствором гидроксида калия и гидразина при комнатной температуре (20±2°C). После окончания пропитки отбирают избыток пропиточного раствора (50% от объёма жидкости, задаваемой на пропитку) и в автоклав добавляют изобутиловый спирт для поддержания жидкостного модуля 3,5:1,0 на этапе варки. Изобутиловый спирт препятствует выводу реагентов из пропитанной щепы, ускоряя делигнификацию.

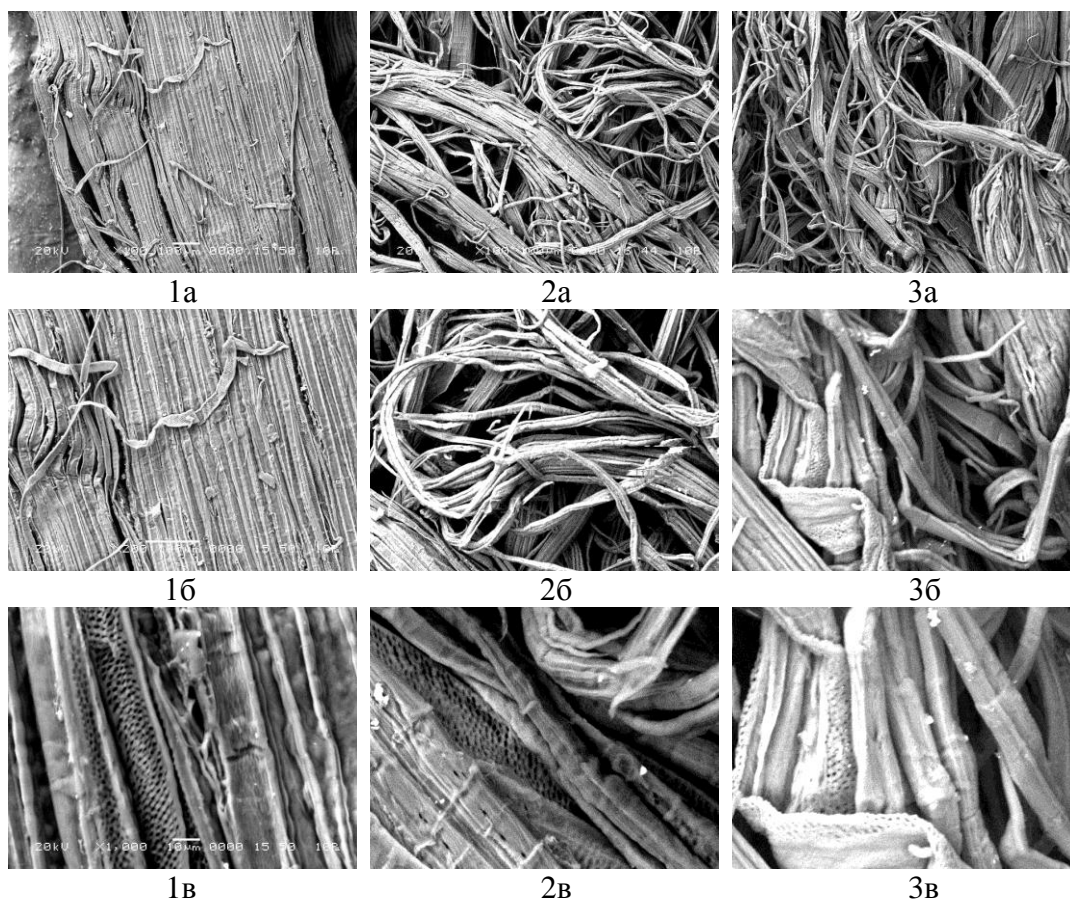
Разработанный способ варки в системе гидроксид калия – гидразин – изобутиловый спирт – вода позволяет дополнительно снизить температуру процесса до распространённых модификаций сульфатного способа. Для получения целлюлозы с требуемым содержанием лигнина из древесины берёзы температуру варки удалось снизить до 130°C.

Как видно на представленных на рисунке 1 (а, б, в) микрофотографиях, признаки разрушения структуры древесины наблюдаются через 45 мин варки на конечной температуре. При этом выход древесного остатка составил 63,2%, а в варочный раствор переходит около 45% лигнина. Заметно ослабление связей между пучками волокон и отдельными волокнами. Однако древесный остаток после варки сохранял вид исходной щепы и не разделялся на пучки и отдельные волокна струёй воды. Вероятнее всего, процесс ослабления связей между волокнами связан с высокой скоростью растворения лигнина из срединной пластинки, а также слоёв *P* и *S*₁ клеточной стенки.

При увеличении продолжительности варки на 15 мин (1 ч варки на конечной температуре) (рисунок 2 (а, б, в)) видно, что около 2/3 древесного остатка разделилось на отдельные волокна и их пучки. Так же видна часть древесного остатка, неразделившаяся под действием сильной струи воды. Представленные волокна обладают высоким со-

держанием лигнина (17,7% от массы целлюлозы). На последующих фотографиях (рисунок 3 (а, б, в)) – образец после двух часов варки на конечной температуре. В пучках волокна отделены друг от друга, сами волокна длинные, прямые или с изогнутыми концами.

Распад древесины на волокна в условиях данной системы начинается при выходе древесного остатка около 57% при переходе в раствор примерно 50% лигнина. Этот процесс происходит с высокой скоростью и завершается за 30 мин. За это время из древесного остатка дополнительно удаляется 15% от массы лигнина, содержащегося в древесине, а выход целлюлозы понижается до 53%.



Рисунки 1, 2, 3 – Электронно-микроскопические фотографии древесных остатков после варки древесины берёзы в системе гидроксид калия – гидразин – изобутиловый спирт – вода на конечной температуре (130°C) в течение 45 мин (рисунок 1), 60 мин (рисунок 2) и 120 мин (рисунок 3). Увеличение: а – 100; б – 200; в – 1000

Выбраны два образца целлюлозы с одинаковым содержанием лигнина, полученных при двух разных температурах варки для сравнения показателей механических свойств. Характеристика целлюлозы при различных условиях варки представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика целлюлозы из древесины берёзы при различных условиях варки в системе гидроксид калия – гидразин – изобутиловый спирт – вода

Наименование показателей		Температура варки, °С	
		140	130
Условия варки	Концентрация КОН на пропитку, г/дм ³	110	140
	Продолжительность варки (на конечной температуре), ч	3,0	6,0
Выход целлюлозы, % от массы древесины		46,9	45,6
Содержание лигнина, % от массы целлюлозы		3,3	3,1
Белизна, %		40,2	43,6
Продолжительность размола до 60±2°ШР, мин		70	88

После размола целлюлозы при стандартных условиях приготовлены отливки для определения показателей механических свойств, которые приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Механические свойства целлюлозы из древесины берёзы при размоле в мельнице ЦРА до 60±2°ШР

Наименование показателей		Температура варки, °С	
		140	130
Сопротивление раздиранию, мН		830	900
Сопротивление продавливанию, кПа		310	260
Разрывная длина, м		7400	6900
Сопротивление излому, ч. д. п.		1700	1300

В результате проведённых экспериментов были установлены закономерности распада древесины берёзы на начальных этапах варки при температуре 130°С в системе гидроксид калия – гидразин – изобутиловый спирт – вода. Полученный волокнистый полуфабрикат, представлял собой неповреждённые прямые волокна и обладал высокими характеристиками механической прочности. Варьируя температуру варки, продолжительность и концентрацию КОН, задаваемого на пропитку, можно добиться оптимальных свойств целлюлозы для применения в производстве бумаги.

ЛИТЕРАТУРА

1 Huang, G. Cleaner Production of Wheat Straw Pulp / G. Huang, Z. Chen, C. Zhang // The Chinese Journal of Process Engineering. – 2002. – Vol. 2, N. 6. – P. 547 – 552.

2 Давляшин, К. С. Делигнификация древесины сосны в условиях низкотемпературной варки в растворах гидроксидов натрия и калия / К. С. Давляшин, Г. А. Пазухина // Известия СПбГЛТА. – 2010. – Вып. №191. – С. 188 – 194.

3 Xiao, C. Soil microbial activity, aggregation and nutrient responses to straw pulping liquor in corn cropping / C. Xiao, R. Stevens, M. Fauci, R. Bolton, M. Lewis, W. T. McKean, D. F. Bezdicek, W. L. Pan // *Biology and Fertility of Soils*. – 2007. – Vol. 43, N. 6. – P. 709 – 719.

4 Пат. 2513387 РФ, МПК D 21 C 1/00. Способ получения целлюлозного полуфабриката / Пазухина Г. А., Давляшин К. С. № 2012118830/12; Заявл. 05.05.2012; Оpubл. 20.04.2014, Бюл. №11.

УДК 655:676.038:502.174

С.В. Куприян, магистрант
А.В. Ледницкий, доц., канд. экон. наук
(БГТУ, Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУМАЖНЫХ ОТХОДОВ В ПОЛИГРАФИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ КАК НАПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

В настоящее время в мировой практике производства бумаги и картона значительно возрос интерес к использованию макулатуры в качестве источника вторичного волокна, что объясняется с одной стороны, ужесточением законодательства в области охраны окружающей среды, а с другой – экономической целесообразностью. Кроме того, использование вторичного волокна для производства различных целлюлозно-бумажных материалов позволяет существенно снизить общий уровень энергопотребления [1].

В настоящее время в Республике Беларусь функционирует ряд крупных полиграфических предприятий: РУП «Издательство «Белорусский Дом печати», ОАО «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа», ОАО «Красная звезда» и другие. В результате их деятельности образуется значительное количество отходов производства в виде бумажных и картонных обрезков, отпечатанной бумаги, используемой для приладки и прочих отходов, которые предприятия сдают на утилизацию.

Представляется целесообразным для сокращения транспортно-заготовительных расходов на приобретаемые материалы и для снижения себестоимости производимой продукции перерабатывать отходы на месте в картон и бумагу. Затраты на качественную бумагу и картон достаточно высокие, что обусловлено тем, что предприятия вынуждены закупать основное сырье и материалы за рубежом, в связи с отсутствием в Республике Беларусь материалов необходимого качества. Внедрение на предприятиях оборудования по переработке макулатуры позволит в значительной степени снизить затраты на используемые материалы. В мире в настоящий момент времени имеются пере-

довые технологии, ряд компаний производит оборудование для локальной переработки макулатуры в бумагу и картон.

Кроме того, актуальность рассматриваемого вопроса связана с низкими закупочными ценами на вторичное сырье в республике, что обуславливает тот факт, что многие физические и юридические лица предпочитают выбросить использованную ими бумагу, чем сдать ее на переработку. Вовлечение в производственный процесс отходов собственного производства и закупка макулатуры со стороны позволит полиграфическим предприятиям установить более высокие цены на вторичное сырье и привлечь тем самым население нашей страны к переработке вторичных отходов в большей степени, чем в настоящий момент времени.

Несмотря на то, что проблема использования отходов в полиграфическом производстве является актуальной во всем мире, число работ связанных с исследованием экономической эффективности использования отходов для производства бумаги и картона незначительно. Вероятно, это связано с тем, что проблема использования вторичного сырья наиболее остро встала в последнее время. В большей мере в литературе представлены данные по использованию оборудования для производства бумаги и картона из макулатуры на специализированных предприятиях [2]. Как правило, каждая из разработок ориентирована на конкретное предприятие и имеет свои особенности.

Практическая значимость предлагаемого подхода определяется возможностью более полного и комплексного использования отходов полиграфического производства в виде образующихся обрезков бумаги и картона, бумаги, используемой на приладку и приправку для изготовления бумаги и картона. Экономическая ценность обусловлена снижением затрат на производство полиграфической продукции, социальная – необходимостью решения экологических вопросов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Яблочкин, Н.И. Макулатура в технологии картона / Н.И. Яблочкин, В.И. Комаров, И.Н. Ковернинский. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2004.

2 Пузырев, С.С. Переработка вторичного волокнистого сырья / С.С. Пузырев, Е.Т. Тюрин, В.А. Волков, О.П. Ковалева. СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2007.

Т.Ф. Манцерава, доц., канд. экон. наук,
Нго Ань Туэт, аспирант
(БНТУ, г. Минск)

СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ВО ВЬЕТНАМЕ

В настоящее время для производства энергии, Вьетнам наряду с традиционными источниками энергии, использует и различные возобновляемые источники энергии (ВИЭ), такие как малая гидроэнергетика, энергия ветра, ресурсы биомассы и биогаза, солнечная и геотермальная энергия.

Вьетнам является страной с большим потенциалом использования солнечной энергии. В среднем по стране, излучение солнечной энергии составляет 4–5 кВт·ч/м² в день. Среднегодовая интенсивность излучения колеблется от 1346,8 до 2153,5 кВт·ч/м² в год, среднегодовые солнечные часы равны 1600–2720 ч/год. [1]. Часть территории, где можно использовать энергию ветра, охватывает около 9% от общей площади страны. Однако рельеф местности сложен, поэтому нет возможности в полной мере использовать этот источник. В настоящее время солнечная энергия во Вьетнаме используется для различных целей, таких как нагрев горячей воды (бытовой и коммерческий), производство электроэнергии, сушки сельскохозяйственной и рыбной продукции. Однако, ввиду недостаточного уровня развития технологий и слабой государственной поддержки, этот источник пока не обеспечивает высокую эффективность.

Вьетнам оценивается как страна с достаточно большим потенциалом энергии ветра. Данные по потенциалу ветроэнергетики в настоящее время в различных отчетах существенно отличаются: от 1785 МВт до более 8700 МВт (по данным ветра Электрической группы Вьетнама – ЭВН); более 100 тыс. МВт (по данным Всемирного банка). Сейчас на всей территории Вьетнама действует примерно 48 зарегистрированных ветроэнергетических проектов, в основном, в средних и южных областях с общей мощностью около 5000 МВт и емкостью проектов от 6 МВт до 300 МВт [2].

Вьетнам является страной с большим количеством рек, из них 90% – малые реки, которые пригодны для развития малой гидроэнергетики (0,1–30 МВт). Общая оцениваемая мощность – более 4000 МВт, экономический потенциал может достичь 16,4 млрд. кВт·ч / год. На сегодня функционируют примерно 310 проектов малых ГЭС во всей стране (более чем в 31 регионах) с общей мощностью 3,443 МВт [3].

Но по оценке экспертов, многие малые ГЭС и микроГЭС сейчас не работают.

Вьетнам является аграрной страной, поэтому имеет большой потенциал энергии биомассы. С точки зрения эффективности эксплуатации (соотношения полученной мощности к потенциалу), биомасса является наиболее эксплуатируемым и эффективным источником энергии во Вьетнаме. По проведенным в ходе исследования расчетам, Вьетнам ежегодно может иметь около 60 млн. т биомассы (от сельскохозяйственных отходов), в том числе мякина (рисовая шелуха) – более 8 млн. т, солома – более 43 млн. т, выжимки сахарного тростника – более 5 млн. т, кофейная шелуха – около 0,2 млн. т, скорлупа орехов – 0,14 млн. т, стебли маниоки – около 3 млн. т, отходы после сбора урожая сахарного тростника – около 2 млн. т. На сегодня потенциал биомассы из древесных дров оценивается в 35 млн. т, и из коммунального мусора городов – около 8 млн.т. Коммунальный мусор (примерно 24 тыс. т/день) используется для производства органических удобрений. Примерно 40% биомассы используется для нужд энергетики или как продукт переработки на местных заводах[3] .

Количество навоза, получаемого от скота по данным выполненного анализа, приведены в таблице (млн. т).

Таблица 1 – Потенциал биотоплива, получаемого от скота

Годы	2005	2010	2011	2012
Буйволы	13,44	13,23	12,48	12,09
Коровы	13,85	14,52	13,59	12,99
Свиньи	27,44	27,63	27,37	27,06
Итого	54,73	55,38	53,44	52,1

В настоящее время примерно 50 биогазовых установок построены домохозяйствами для переработки отходов в аграрной и лесной отрасли, но это только около 0,3% от 17 тыс. ферм по всей стране [4]. Кроме этого, пока отсутствует подключение к общей государственной сети таких установок. Результаты анализа Института Науки Энергетики показывает, что на территории Вьетнама обнаружено 269 геотермальных источников в Северной и Южной Дельте с глубиной от 300 м до 1300 м и температурой от 30 °С и выше, в том числе 140 – с теплой водой, 84 – со средне горячей водой, 41 – с очень горячей водой и 4 – со слишком горячей водой [5].

Вьетнам также богат энергетическими ресурсами океана. Это энергия приливов, волн, течения и некоторые морские водоросли. Од-

нако, эти ресурсы пока используются незначительно, так как имеют небольшой спрос.

Потенциал ВИЭ во Вьетнаме велик, но в настоящее время при эксплуатации и использовании этих источников специалисты сталкиваются со значительными препятствиями и трудностями. По отчету Министерства промышленности и торговли Вьетнама, в 2011 году потенциал и эксплуатация возобновляемых источников энергии во Вьетнаме были следующими:

Таблица 2 – Потенциал и эксплуатация ВИЭ во Вьетнаме

ВИЭ	ветер	солнце	МГЭС	Биомасса	Мусор	Биогаз	Геотермальный источник
Эксплуатация	1,25 МВт	1,2 кВт-ч /м ²	300 МВт	150 МВт	2,4 МВт	2 МВт	0 МВт
Потенциал	1785 МВт	4–5 кВт-ч /м ²	4000 МВт	800 МВт	350 МВт	150 МВт	340 МВт

Основные препятствия при использовании во Вьетнаме следующие:

- высокая стоимость энергии, произведенной из ВИЭ;
- отсутствие сильной государственной поддержки и не согласованность в разведке, разработке и использовании ВИЭ;
- отсутствие механизмов финансирования и эффективного управления проектами использования возобновляемых источников;
- отсутствие полной информации и баз данных;
- недостаточная развитость технологии и сопутствующей инфраструктуры;
- трудность доступа к капиталу;
- трудности в обосновании тарифов на электроэнергию, полученную из ВИЭ.

Начиная с 2001 года, Правительство Вьетнама приняло программу развития возобновляемых источников энергии. Решение текущих проблем использования энергии во Вьетнаме, таких как низкая эффективность, загрязнение окружающей среды, истощение ископаемой энергии и опасность импорта энергии в будущем, возможно при выполнении мероприятий, включенных в национальную стратегию развития энергетики Вьетнама до 2020 года с перспективой до 2050 года (в соответствии с решением № 1855 / QD-TTg от 27/12/2007).

Этим документом предусмотрено, что доля возобновляемых источников энергии 2010 должна была достигнуть 3% в 2010 году, 5% – в 2020 году и 11% – в 2050 году. Как видно, доля ВИЭ недостаточно высока. В решении QĐ-TTg 1208 закреплено, что ветроэнергетика должна обеспечить 1000 МВт в 2020 г. и 6200МВт в 2030 г. Электроэнергия, полученная из биомассы, достигнет уровня 500 МВт в 2020 г. и 2000 МВт в 2030 г. Обнародованы механизмы поддержки развития ветроэнергетики в 2011 г. и биомассы в 2013 г. Для других возобновляемых источников энергии пока нет конкретного плана развития других возобновляемых источников энергии, но разработаны варианты политики общего стимулирования развития ВИЭ с целью повышения эффективности использования всех возможных ВИЭ в энергосистеме Вьетнама. Одновременно решаются вопросы экономии энергии и защиты окружающей среды.

Оценивая общие мировые тенденции в использовании механизма энергосбережения, правительство Вьетнама разрабатывает политику, направленную на устойчивое развитие энергосистемы страны с целью обеспечения энергетической безопасности и защиты окружающей среды. Разрабатываемая политика многогранна и включает в себя мероприятия по добыче и рациональному использованию ресурсов ископаемого топлива; эффективную ценовую политику; инвестиционную политику для развития новых ВИЭ, биоэнергетики, атомной энергетики. Однако следует отметить, что разработанный механизм поддержки развития ВИЭ имеет ряд недостатков и требует существенной доработки.

ЛИТЕРАТУРА

1 Электронный ресурс:

<http://www.renewableenergy.org.vn/index.php?mact=News,cntnt01,detail,0&cntnt01articleid=1730&cntnt01detailtemplate=wind%20energy%20in%20vietnam&cntnt01pagelimit=7&cntnt01returnid=87>

2 Нгуен Куок Хань, Информация энергии ветра во Вьетнаме/проекта энергии ветра GIZ/MoIT2011, Ханой апреля 2011г.

3 Электронный ресурс:

<http://www.renewableenergy.org.vn/index.php?page=thuy-dien-nho>

4 Электронный ресурс:<http://baobacgiang.com.vn/bg/kinh-te/tiet-kiem-nang-luong/104807/tiem-nang-khi-sinh-hoc-chua-duoc-tan-dung-.html>

5 Нго Туан Киет, Исследование обзора и ориентация развития энергосистемы Вьетнама/Институт Науки Энергетики, Академия наука и технологии Вьетнама, 2007г.

Ю.В. Севастьянова, к.т.н., доцент кафедры ТЦБП
М.А. Молодцова, аспирант кафедры ТЦБП
(САФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ ПРОЦЕССА ОТБЕЛКИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СВЧ ИЗЛУЧЕ- НИЯ НА СТРУКТУРНО-РАЗМЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ- ВОЛОКОН ЛИСТВЕННОЙ СФА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Современный уровень развития химической промышленности ставит перед наукой ряд задач, решение которых позволит значительно увеличить эффективность производства, в первую очередь, за счет применения энергосберегающих технологий, снизить техногенное влияние на окружающую среду. Одно из таких направлений – применение энергии СВЧ (сверхвысокочастотного) излучения для непосредственного нагрева различных объектов. Нагрев – один из основных этапов целого ряда химических производств, широко применяемых в промышленности, он является одним из самых энергоемких, поэтому использование в качестве энергоносителя электромагнитного излучения СВЧ диапазона позволяет реализовать:

- более высокий темп нагрева, позволяющий за достаточно короткий промежуток времени достигать заданной температуры с последующей её стабилизацией и управлением;

- реализовать безынерционную систему подвода энергоносителя в реакционную зону;

- возможность создания однородного температурного поля при нагреве для создания оптимальных условий протекания химического синтеза;

- отсутствие сторонних теплоносителей, обеспечивающих стерильность получаемого продукта, что является необходимым условием для различных химических процессов, исключая затраты на подготовку теплоносителя и очистку получаемого продукта;

- значительно упростить аппаратное оформление, т. к. нет необходимости размещать нагреватели, печи, теплообменники и прочие установки традиционного нагрева в непосредственной близости от реактора.

Существует принципиальная возможность проведения химических превращений под действием электромагнитного излучения СВЧ диапазона, в частности, реакций гетерогенного катализа, таких как реакции гидрирования и дегидрирования углеводородов, при реализа-

ции которых энергия электромагнитного излучения трансформируется в тепловую веществом катализатора.

В настоящее время электромагнитного излучения СВЧ диапазона уже широко используется в различных отраслях – в пищевой, металлургической фармацевтической, химической.

Процесс отбеливания целлюлозы – одна из важнейших стадий в производстве белевой целлюлозы для изготовления белых видов бумаги и картона. Рост требований к качеству белевой целлюлозы, а так же контроль в области охраны окружающей среды заставляют двигаться в направлении совершенствования существующих на сегодняшний день технологий отбеливания целлюлозы.

Отбеливание целлюлозы под воздействием СВЧ излучения позволяет проводить исследования кинетики химического синтеза с обеспечением контролируемого воздействия микроволнового излучения на реакционную среду.

Целью данной исследовательской работы является проведение отбеливания листовой СФА целлюлозы под воздействием микроволнового излучения и исследование изменения структурно-морфологических характеристик полученных волокнистых полуфабрикатов.

В лабораторных условиях был смоделирован и проведен процесс отбеливания по традиционной схеме с использованием СВЧ листовой СФА целлюлозы. На предварительном этапе эксперимента для отбеливания использовался промышленный образец целлюлозы с числом Каппа 11,8 единиц. Отбеливание целлюлозы была проведена в СВЧ по условиям ступени D_0 при различной продолжительности процесса. Условия проведения отбеливания представлены в таблице 1. Контроль проводили по конечной температуре массы и содержанию остаточного хлора.

Таблица 1 – Условия проведения предварительного этапа эксперимента для образца листовой целлюлозы

Продолжительность обработки, мин	Концентрация ClO_2 , г/л	Расход ClO_2 , кг/т	Температура, °C	$pH_{нач}$
1	12,62	21,0	По результатам	3,2...3,4
2				
3				
4				

В настоящее время для оценки бумагообразующих свойств волокнистых полуфабрикатов используется классификация свойств по Кларку [1], принятая в 80-х годах прошлого столетия. В соответствии

с этой классификацией одними из основных свойств полуфабрикатов являются структурно-размерные характеристики волокна (средняя длина и ширина волокна) и грубость волокон.

Тонкость и гибкость целлюлозных волокон в бумаге влияют на ее свойства. Следовательно, грубость волокон – одно из важнейших фундаментальных свойств. Многие технологи совершали серьезные ошибки при оценке свойств целлюлозы, не принимая во внимание, что более длинные волокна древесной целлюлозы почти всегда и более грубые. Такие свойства бумаги, как прочность и пухлость, ошибочно объясняли длиной волокон, тогда как фактической причиной различий в этих свойствах были изменения грубости волокон [1].

В настоящее время широко используются возможности расширенного анализа свойств целлюлозных волокон, который может быть получен с помощью современного оборудования анализатора волокна FiberTester, позволяющего провести тестирование образца, обработку полученных данных и генерацию отчета по показаниям и проанализировать большее количество показателей.

FiberTester состоит из устройства для анализа вместе с ПК, который управляет тестированием образца, обрабатывает данные и генерирует отчет по показаниям. На вращающийся столик для образцов можно размещать до 6 стаканов с дезинтегрированной массой. ПК запоминает идентификацию (ID) каждого образца, после чего образец всасывается в прибор и разбавляется до требуемой для измерения концентрации. Суспензия волокон прокачивается через измерительную ячейку, где она фотографируется. Изображения затем обрабатываются с помощью программы для анализа изображений. Пользователь может настроить варианты выдачи отчета в разных видах. В отчет по умолчанию включены следующие параметры волокон: длина (среднее значение); ширина (среднее значение); форма, т.е. частное от деления проекции длины на фактическую длину; мелочь – выражается как процент волокон короче 0.2 мм относительно числа волокон длиннее 0.2 мм; грубость, т.е. вес волокна на единицу длины.

При проведении исследования фракционный состав волокна определяли до отбелки и после проведения отбелки в СВЧ. Анализ изменения геометрических размеров волокон позволяет оценить изменение размеров волокон в процессе отбелки, полученные результаты представлены в таблице 2.

Полученные результаты показывают, что основные структурно-размерные характеристики волокон изменяются незначительно. Длина волокна уменьшается примерно на 3,0 %, ширина волокна – на 2,5 %. Существенно изменяется доля мелкого волокна, замеряемого прибо-

ром – примерно на 8 % при расходе реагента 4,5 кг на единицу Каппа, увеличение расхода до 5,0 кг на единицу Каппа приводит к снижению доли мелкого волокна на 17 %.

Наиболее существенно изменяется грубость волокон до 20 %, что объясняется изменением химического состава целлюлозы в процессе отбелки и растворением остаточного лигнина.

Таблица 2 – Изменение структурно-размерных характеристик лиственной целлюлозы в процессе отбелки с использованием СВЧ

Обра- зец	Средн. длина, мм	Средн. ширина, мкм	Средн. фактор формы, %	Доля мело- чи, %	Гру- бость	Средн. угол излома	Число изломов на мм	Число изломов на во- локно	Средн. индекс излома	Средн. длина сег- мента, мм
Исходная лиственная СФА										
	0,954	23,4	92,0	2,9	93,2	45,2	0,394	0,342	0,937	0,801
	0,966	23,3	91,8	2,7	92,9	45,4	0,392	0,342	0,936	0,805
Среднее	0,960	23,4	91,9	2,8	93,1	45,3	0,393	0,342	0,937	0,803
Лиственная СФА после обработки; продолжительность 4 мин, расход 4,5 кг/ ед. Каппа										
	0,926	22,8	89,9	2,5	79,1	48,7	0,609	0,515	1,505	0,705
	0,934	22,9	89,7	2,7	72,3	48,8	0,604	0,512	1,493	0,711
Среднее	0,930	22,9	89,8	2,6	75,7	48,8	0,607	0,514	1,499	0,708
Лиственная СФА после обработки; продолжительность 6 мин, расход 4,5 кг/ ед. Каппа										
	0,929	22,9	88,9	2,8	75,7	50,1	0,681	0,572	1,709	0,679
	0,93	22,8	88,8	2,8	69,6	50,1	0,694	0,587	1,738	0,679
Среднее	0,930	22,9	88,9	2,8	72,7	50,1	0,688	0,580	1,724	0,679
Лиственная СФА после обработки; продолжительность 4 мин, расход 5 кг/ ед. Каппа										
	0,927	22,9	89,4	2,3	84,1	49,3	0,639	0,538	1,59	0,698
	0,928	22,8	89,5	2,3	75,9	49,3	0,633	0,534	1,573	0,7
Среднее	0,928	22,9	89,5	2,3	80,0	49,3	0,636	0,536	1,582	0,699
Лиственная СФА после обработки; продолжительность 6 мин, расход 5 кг/ ед. Каппа										
	0,924	22,7	89,6	2,5	79,0	48,6	0,636	0,534	1,571	0,694
	0,927	22,9	89,4	2,4	73,1	49,5	0,624	0,526	1,552	0,7
Среднее	0,926	22,8	89,5	2,5	76,1	49,1	0,630	0,530	1,562	0,697

Таким образом, можно наблюдать, что при значительном сокращении времени на процесс отбелки структурно-морфологические характеристики целлюлозы изменяются незначительно, а некоторые показатели(грубость) улучшают свои показатели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кларк Дж. Технология целлюлозы (наука о целлюлозной массе и бумаге, подготовка массы, переработка ее на бумагу, методы испытаний): М.: Лесная промышленность, 1983. – 456 с.

СЕКЦИЯ № 5
РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ
И ПРОИЗВОДСТВЕ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ
ТЕХНИКИ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

Председатель – Черник Александр Александрович, зав. кафедрой
технологии электрохимических производств и материалов
электронной техники, доцент, канд. хим. наук

Секретарь – Жилинский Валерий Викторович, старший
преподаватель, канд. хим. наук

УДК 541.13

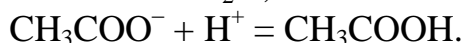
И.В. Антихович, асс., А.К. Болвако, асс., А.А. Черник, доц.,
канд. хим. наук, И.М. Жарский, проф., канд. хим. наук
(БГТУ, г. Минск)

СМЕШАННОЛИГАНДНОЕ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ В АЦЕТАТНО-ХЛОРИДНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ НИКЕЛИРОВАНИЯ

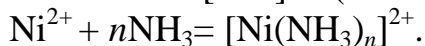
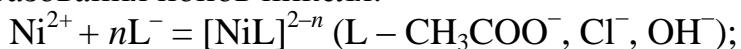
Перспективным направлением исследований последних лет является изучение низкотемпературного электроосаждения никеля в отсутствие борной кислоты. В ряде работ отражена перспективность использования ацетатов в качестве буферных добавок и как потенциальных ионов, образующих комплексы с ионами никеля [1, 2]. Одним из таких электролитов является ацетатно-хлоридный электролит никелирования с добавкой ацетата аммония.

Целью работы являлось моделирование равновесий, устанавливающихся в ацетатно-хлоридных электролитах никелирования. Начальные концентрации компонентов варьировались в пределах 0,25–1,35 моль·дм⁻³ для NiCl₂ и 0,05–0,6 моль·дм⁻³ для CH₃COONH₄.

При анализе ионных равновесий в гомогенной системе Ni²⁺ – Cl⁻ – CH₃COO⁻ – NH₄⁺ расчет проводили с помощью модифицированного алгоритма Бринкли, система нелинейных уравнений в котором решается итерационным способом Ньютона, а также на основании уравнений материального и электронного баланса. При этом учитывали следующие возможные реакции в растворе:



Кроме того, рассматривались процессы ступенчатого комплексобразования ионов никеля:



Логарифмы констант образования β соответствующих комплексных ионов при температуре T приведены в таблице.

В ацетатно-хлоридном электролите ионы никеля координируются молекулами растворителя и комплексобразующими ионами. На рисунке представлена зависимость равновесных концентраций ионов Ni²⁺ и его комплексов с CH₃COO⁻, Cl⁻ и NH₃ от эквимолярной концентрации лигандов при рН = 7, которая построена исходя из предположения, что моноядерное комплексное соединение в растворе образуется при последовательном замещении молекул растворителя во внутренней координационной сфере на молекулы или ионы лиганда.

Таблица - Константы образования комплексных никельсодержащих форм

Комплекс	$\lg \beta$	T, K	Комплекс	$\lg \beta$	T, K
$[\text{NiOH}]^+$	4,97	298	$[\text{Ni}(\text{NH}_3)]^{2+}$	2,79	298
$[\text{Ni}(\text{OH})_2]$	8,55	273	$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_2]^{2+}$	5,0	298
$[\text{Ni}(\text{OH})_3]^-$	11,33	273	$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_3]^{2+}$	6,76	298
$[\text{NiCl}]^+$	0,69	298	$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	7,95	298
$[\text{NiCl}_2]^0$	1,69	298	$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$	8,7	298
$[\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})]^+$	1,12	298	$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	8,73	298
$[\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$	1,81	298			

Как следует из рисунка, для исследуемых электролитов имеет место сложное равновесие и наблюдается одновременное сосуществование нескольких форм ионов, обусловленное процессами конкурирующего комплексообразования и значениями ступенчатых констант устойчивости соответствующих ионов. Концентрация лигандов находится в области преобладающего существования Ni^{2+} , а также хлоридных (NiCl^+) и ацетатных ($\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})^+$) форм комплексов. В концентрированных растворах в распределении комплексных частиц активное участие должны принимать аммиакатные комплексы никеля.

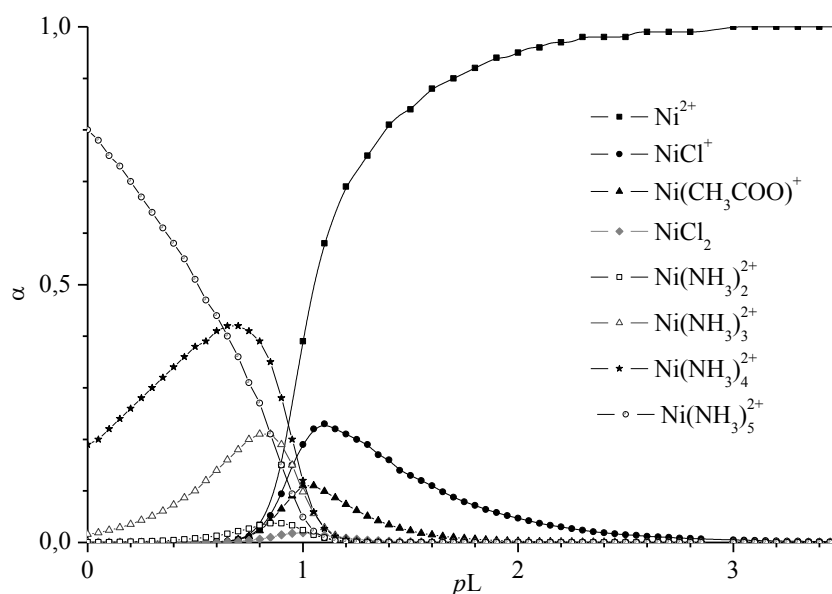


Рисунок – Зависимость долевого распределения комплексных частиц никеля ($c_{\text{Ni}}=1$ моль·дм⁻³) от эквимольной концентрации лигандов

На основании анализа математической модели химических равновесий при различном соотношении компонентов электролита установлено, что при постоянной концентрации Ni и увеличении концентрации ацетата аммония с 0,06 до 0,58 моль·дм⁻³ идет существенное перераспределение содержания комплексов никеля. При этом содержание свободных ионов Ni уменьшается в 4 раза, в то время как доля

ацетатных комплексов ($[\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})]^+$, $[\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$) увеличивается от 0,49% и 0,01% до 13,22% и 18,92% соответственно. При этом расчетные и фотометрические данные, полученные ранее [3], коррелируют и показывают, что при соотношении $\text{Ni} : \text{CH}_3\text{COO}^- = 0,25 \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-3} : 0,06 \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-3}$ и $\text{pH} = 4$ в растворе находится незначительное количество ацетатных форм (6,49%).

При увеличении концентрации Ni до $1,36 \text{ моль} \cdot \text{дм}^{-3}$ доля свободных ионов никеля уменьшается почти в 4 раза и в растворе начинают преобладать комплексы никеля с хлорид-ионами, тогда как на ацетатные и аммиакатные приходится 0,26–1,12% и 0,01–0,05% соответственно. На положительно заряженные частицы в электролитах приходится от 18 до 31%, что должно увеличивать вклад миграции в процессе массопереноса.

На основании проведенных математических расчетов для электролита состава $\text{Ni } 15 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$ и $\text{CH}_3\text{COONH}_4 15 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$ доля ацетатных комплексов никеля составляет 12,44%, что больше, чем свободных ионов (8,19%) и аммикатных комплексов (0,6%). Увеличение концентрации ацетат-ионов способствует образованию $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})^+$ и $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ и уменьшению содержания свободных ионов никеля в электролите.

Анализ равновесий, устанавливающихся в растворах электролитов, позволяет выявить концентрационные соотношения и области pH образования смешанных комплексов никеля и обосновать составы электролитов низкотемпературного никелирования для получения функциональных покрытий, что может способствовать разработке новых экологически безопасных и высокопроизводительных составов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высокопроизводительные низкоконцентрированные электролиты для нанесения покрытий из никеля на основе его солей с карбоновыми кислотами / Бек Р.Ю. и др. // Журнал прикладной химии. – 1996. – Т. 69, Вып. 11. – С. 1880–1884.

2. Moharana M., Mallik A. Nickel electrocrystallization in different electrolytes: An in-process and post synthesis analysis // *Electrochimica acta*. – 2013. – Vol. 98. – P. 1–10.

3. Антихович И.В., Черник А.А., Жарский И.М. Влияние импульсного режима электролиза на свойства никелевых покрытий, полученных из низкоконцентрированного ацетатно-хлоридного электролита // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2013. – № 20 (46). – С. 30–34.

А.А. Затюпо, ассист., канд. хим. наук,

Л.А. Башкиров, проф., д-р хим. наук,

И.А. Великанова, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, ИК-СПЕКТРЫ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$

Феррит висмута $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ является важным функциональным материалом, т.к. может применяться в качестве полупроводникового химического сенсора газов, катализатора окисления аммиака в NO в промышленном производстве азотной кислоты [1-4], способного заменить дорогостоящие и дефицитные катализаторы. Соединение $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ является побочным продуктом при синтезе мультиферроика BiFeO_3 . Недавно было выявлено, что $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ сам может проявлять свойства мультиферроика. Это и обуславливает постепенное увеличение работ, посвященных твердым растворам на основе феррита $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$, который также как и BiFeO_3 является антиферромагнетиком, но с более низкой температурой Нееля (~264 K). Однако в литературе практически отсутствуют сведения о свойствах твердых растворов на основе $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$, в которых проводилось бы частичное замещение ионов Bi^{3+} ионами редкоземельных элементов и ионов Fe^{3+} ионами $3d$ -металлов, хотя проведенные подобные замещения в BiFeO_3 показали их результативность и перспективность [5].

Синтез поликристаллических образцов ферритов $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$ ($x = 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4$) осуществлен методом твердофазных реакций из соответствующих оксидов Bi_2O_3 , Fe_2O_3 , La_2O_3 на воздухе при $T = 800^\circ\text{C}$ в течение 8 ч. Рентгеновские дифрактограммы получали на дифрактометре D8 ADVANCED с использованием CuK_α -излучения. Инфракрасные спектры синтезированных соединений в интервале волновых чисел $350\text{--}900\text{ см}^{-1}$ записывали на ИК-Фурье спектрометре NEXUS фирмы THERMO NICOLET.

Полученный в работе твердофазным методом феррит висмута $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ имел орторомбическую структуру (пр. гр. $Pbam$) муллита с параметрами кристаллической решетки $a = 7.9595\text{ \AA}$, $b = 8.4297\text{ \AA}$, $c = 5.9912\text{ \AA}$, $V = 401.987\text{ \AA}^3$. Структура $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ состоит из колонок октаэдров FeO_6 , расположенных параллельно оси c , связанных с двойными тетраэдрами Fe_2O_7 . Есть два различных положения ионов железа Fe^{3+} в $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$: $\text{Fe}^{3+(1)}$ – занимает тетраэдрическую позицию, а $\text{Fe}^{3+(2)}$ – октаэдрическую позицию (рис.1а). В результате, образованная различными магнитными ионами железа $\text{Fe}^{3+(1)}$ и $\text{Fe}^{3+(2)}$, кристаллическая решетка позволяет обнаружить новые свойства. Кроме

того, свойства материала могут зависеть также от распределения ионов Bi^{3+} на двух неэквивалентных участках в структуре типа муллита [6].

Замещение 5-40 мол.% ионов висмута Bi^{3+} в $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ ионами лантана La^{3+} приводит к образованию соответствующих твердых растворов $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$. Однако по данным рентгенофазового анализа по мере увеличения степени замещения ионов висмута Bi^{3+} ионами лантана La^{3+} увеличивается и количество примесной фазы BiFeO_3 (рис.1б). На образование твердых растворов указывают не только результаты рентгенофазового анализа (изменение параметров a , b , c , c/a и V для кристаллической решетки орторомбически искаженного перовскита), но и данные ИК-спектроскопии.

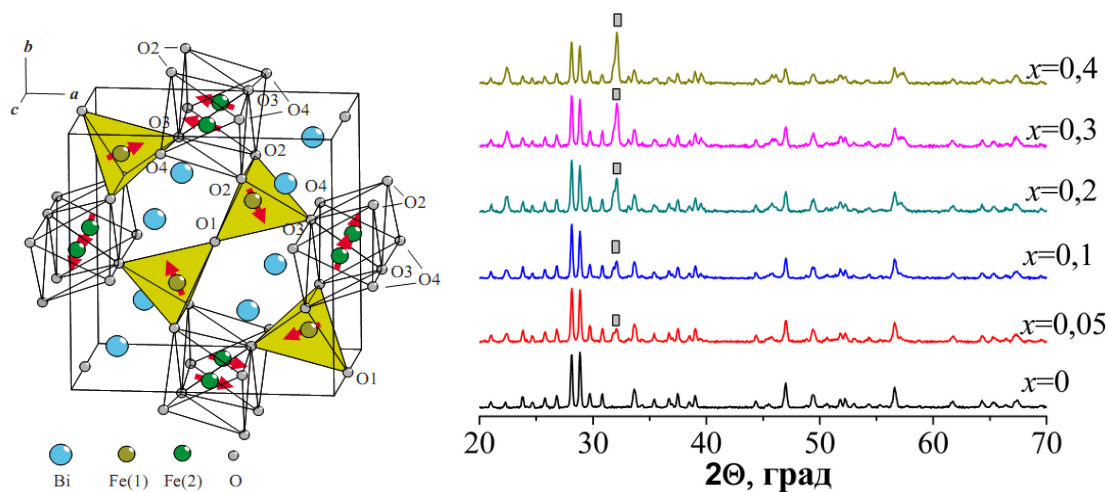


Рисунок 1 - Структура ячейки $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$. Стрелочками показано направление магнитного момента в антиферромагнитном состоянии (а) [6]. Рентгеновские дифрактограммы твердых растворов $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$ (\square – BiFeO_3) (б)

Закономерности изменения частот полос поглощения, обусловленных валентными и деформационными колебаниями, для образцов исследованной системы $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$ представлены на рис. 2.

Проявляющиеся в спектрах полосы поглощения в области волновых чисел 812 см^{-1} , 668 см^{-1} и 637 см^{-1} характеризуют валентные колебания связей $\text{Fe}(2)\text{--O}$ в тетраэдрах $\text{Fe}(2)\text{O}_4$. Эти минимумы остаются заметными при замещении ионов висмута ионами лантана и наблюдается незначительное возрастание их частот. Полоса поглощения при 602 см^{-1} определяет деформационные колебания связей $\text{Fe}(2)\text{--O--Fe}(2)$, а при 522 см^{-1} и 494 см^{-1} характеризуют деформационные колебания связей $\text{O--Fe}(2)\text{--O}$ в тетраэдральных парах $\text{Fe}(2)\text{O}_4$ димера Fe_2O_7 (элементарная ячейка $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ представлена на рис. 1а [6]). Частоты в 471 см^{-1} и 439 см^{-1} отвечают валентным колебаниям связей $\text{Fe}(1)\text{--O}$ в октаэдрах $\text{Fe}(1)\text{O}_6$.

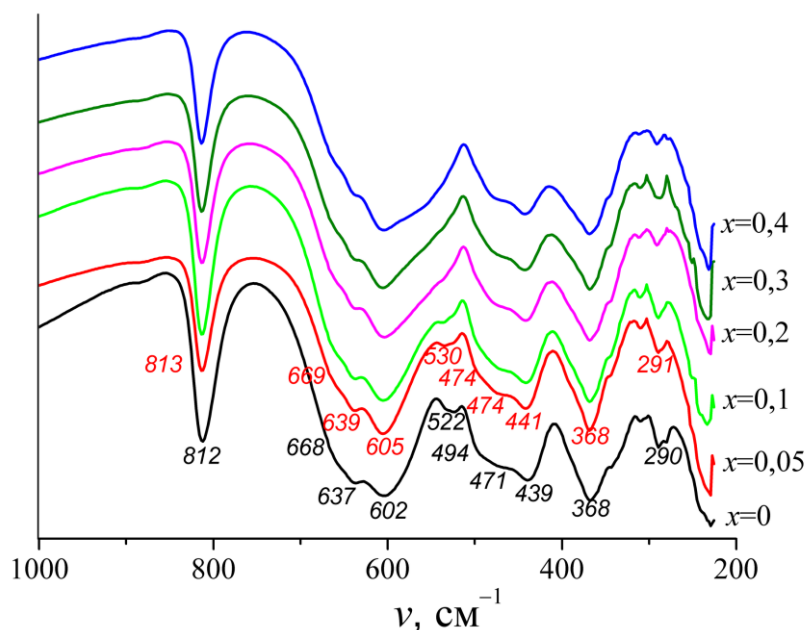


Рисунок 2 - ИК-спектры образцов твердых растворов $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$

Таблица 1 – Частоты полос поглощения ИК-спектров твердых растворов ферритов $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$

Соединение, $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$	Частоты полос поглощения валентных колебаний связей Fe(2)–O в тетраэдрах $\text{Fe}(2)\text{O}_4$, cm^{-1}			Частоты полос поглощения деформационных колебаний связей Fe(2)–O–Fe(2) в тетраэдральных парах $\text{Fe}(2)\text{O}_4$ димера Fe_2O_7	Частоты полос поглощения деформационных колебаний связей O–Fe(2)–O в тетраэдральных парах $\text{Fe}(2)\text{O}_4$ димера Fe_2O_7		Частоты полос поглощения валентных колебаний связей Fe(1)–O в октаэдрах $\text{Fe}(1)\text{O}_6$	
	813	668	637		522	494	471	439
$\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$	812	668	637	602	522	494	471	439
$\text{Bi}_{1,95}\text{La}_{0,05}\text{Fe}_4\text{O}_9$	813	669	639	605	530	496	474	441
$\text{Bi}_{1,9}\text{La}_{0,1}\text{Fe}_4\text{O}_9$	813	669	639	606	536	497	474	442
$\text{Bi}_{1,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_4\text{O}_9$	813	671	640	606	538	498	475	444
$\text{Bi}_{1,7}\text{La}_{0,3}\text{Fe}_4\text{O}_9$	813	671	640	608	540	501	480	445
$\text{Bi}_{1,6}\text{La}_{0,4}\text{Fe}_4\text{O}_9$	813	671	641	610	559	502	480	446

При замещении происходит смещение полос поглощения в высокочастотную область (табл. 1), что является следствием уменьшения длин связей Fe–O, особенно в октаэдрах FeO_6 , и уменьшением углов O–Fe–O. При этом характер изменения частот поглощения, обусловленных валентными и деформационными колебаниями, подтверждает образование твердых растворов на основе $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$. Таким образом, данные ИК-спектроскопии согласуются с результатами рентгенофазового анализа.

Анализ температурной зависимости удельной намагниченности показал, что $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ является антиферромагнетиком, температура Нееля T_N которого равна 258 К, а при введении ионов La^{3+} в кристаллическую структуру $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ происходит смещение T_N в низкотемпе-

ратурную область и для $\text{Bi}_{1,95}\text{La}_{0,05}\text{Fe}_4\text{O}_9$ она равна 246 К, а для $\text{Bi}_{1,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_4\text{O}_9$ $T_N=243$ К (рис. 3).

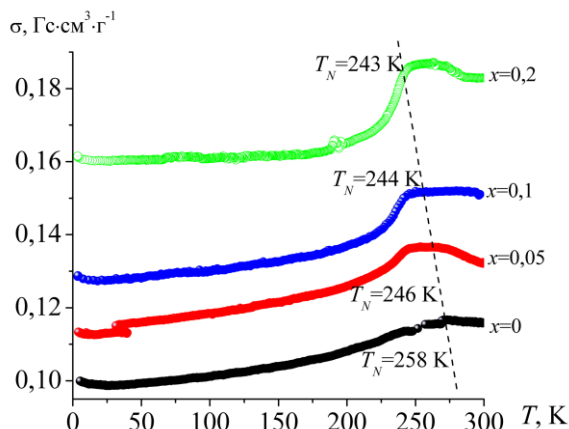


Рисунок 3 – Температурная зависимость удельной намагниченности ($\sigma_{уд}$) твердых растворов $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$ в интервале температур 5–300 К

Исследованы также полевые зависимости намагниченности для полученных твердых растворов на основе $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ при температурах 300 К и 5 К, а также проведен расчет величины эффективного магнитного момента. Полученные данные указывают на наличие в данных образцах отрицательного обменного взаимодействия, приводящего к антиферромагнитному расположению магнитных моментов двух подрешеток (октаэдрических и тетраэдрических), в которых расположены ионы Fe^{3+} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Ruan Q.-J., Zhang W.-D. Tunable Morphology of $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ Crystals for Photocatalytic Oxidation / Ruan Q.-J., Zhang W.-D. // *J. Phys. Chem.* 2009. V. 113. P. 4168–4173.
2. Polyacrylamide gel synthesis and photocatalytic performance of $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ nanoparticles/ Zhang M., Yang H., Xian T. et al. // *J. All. Comp.* 2011. V. 509. P. 809–812.
3. Газочувствительные датчики на основе ферритов висмута / Погосян А.С., Абовян Г.В., Арутюнян В.М. и др. // *Ж. анал. хим.* 1990. Т. 45. Вып. 7. С. 1349–1354.
4. Size-Dependent Magnetic, Photoabsorbing, and Photocatalytic Properties of Single-Crystalline $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ Semiconductor Nanocrystals/ Zhang Q., Gong W., Wang J. et al. // *J. Phys. Chem. C.* 2011. V. 115. P. 25241–25246.
5. Catalan G., Scott J.F. Physics and Applications of Bismuth Ferrite / Catalan G., Scott J.F. // *Adv. Mater.* 2009. Vol. 21. P. 2463–2485.
6. Phonon and magnon scattering of antiferromagnetic $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ / Iliev M.N., Litvinchuk A.P., Hadjiev V.G. et al. // *Phys. Rev. B.* 2010. Vol. 81. P.024302-1–024302-8.

К.К.Ким, проф., д-р техн. наук
А.А.Степанов, студент гр.ЭС-004
В.А.Федотов, студент гр.ЭС-004
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ

Применение направленного электрического взрыва для сварки металлов позволяет исключить из рабочего цикла применение специальных газовых аэрозолей, необходимых при традиционной сварке, а также исключить испарение самого металла в атмосферу. Наиболее вредными веществами, входящими в состав покрытия и металла электрода, являются хром, марганец и фтористые соединения.

При электрогидроимпульсной (ЭГ) сварке соединение материалов осуществляется в результате термодеструкционного и электромагнитного на них воздействия. Независимо от характера и интенсивности этого воздействия, т. е. от способа сварки в твердом состоянии, природа образования соединения между ними одинакова. Различия заключаются в кинетике протекания отдельных стадий процесса, что определяется условиями, характером и интенсивностью деформации металлов, степенью локализации деформации и особенностями развития релаксационных процессов в приконтактной зоне.

На качество соединений, получаемых ЭГ сваркой, основное влияние оказывает давление при соударении, которое зависит от скорости деформирования пластины в момент соударения. Скорость в основном зависит от величины напряжения.

Для проведения предварительных оценок силовых характеристик электрогидроимпульсного эффекта, лежащего в основе рассматриваемого типа сварки, была разработана инженерная методика их расчета (рис. 1). Где C – емкостной накопитель, L – индуктивность соединительных проводов и взрывной проволоочки, R – их сопротивление. Нелинейный элемент моделирует электрические параметры взрывного патрона с жидкостью во время прохождения через него тока.

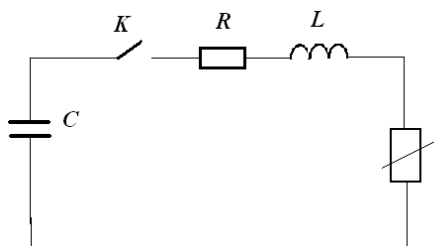


Рисунок 1 - Расчетная схема

В качестве расчётных величин выбраны следующие : $U_m = 20$ кВ, $I_m = 9,9$ кА, $P_m = 9,9$ МПа, $v_{c\max} = 270$ м/с .

При косых соударениях часть кинетической энергии свариваемой пластины переходит в ударные волны и теплоту, а часть - рассеивается. Очевидно, пластическая деформация на поверхности контакта играет при соединении весьма существенную роль, являясь механизмом, способным перевести в тепло значительную часть кинетической энергии свариваемой пластины и ослабить действие разгрузкой до такой степени, что растягивающие усилия, которые появляются, не способны разрушить образованное соединение. Кроме того, пластическая деформация, при косом соударении сопровождающаяся волнообразованием, способствует механическому зацеплению соединяемых металлов и увеличивает поверхность их соприкосновения.

Образование сварного шва в процессе ЭГ сварке происходит под действием импульса давления, возникающего при электровзрыве проволоочки в воде, заполняющей патрон разового действия. Эффективность энерговыделения при этом обуславливается множеством факторов: параметрами разрядного контура (напряжение зарядки U_0 и емкость накопителя C , индуктивность разрядного контура L ; параметрами ВП (диаметр d_w , длина l_w , материал, форма); параметрами передающей среды (плотность, скорость распространения звука, химический состав); конструктивным исполнением патрона и др.

Электровзрывающаяся проволоочка патрона является также регулятором выделяемой в патроне энергии. Электрический взрыв проволоочки начинается с быстрого ее нагрева достаточно мощным импульсом тока до температур плавления, кипения и, наконец, перегрева. Истинный взрыв начинается с момента перехода жидкой фазы в парообразную.

Стремление исключить загрязнение свариваемых деталей и обеспечить высокую эффективность передачи энергии к свариваемой детали привело к использованию в патронах воды. Эксперименты подтвердили правильность выбора воды в качестве передающей среды.

Для нужд железнодорожного транспорта исследовался процесс сварки стальной и медной пластин. Был создан экспериментальный макет сварочной установки, состоящей из блока накопителя и узла сварки.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2.

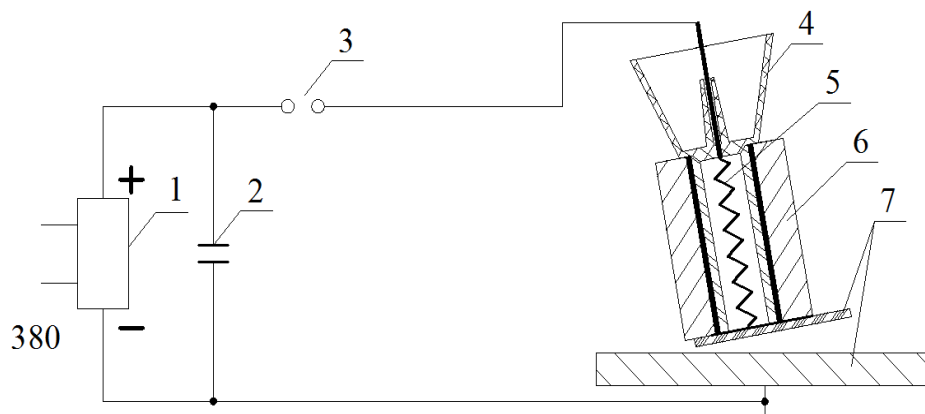


Рисунок 2 - Схема экспериментальной установки

1 – зарядное устройство, 2 - конденсаторная батарея, 3 - разрядник,
4 - одноразовый патрон, 5 - взрывающийся проводник, 6 – узел сварки,
7 - свариваемые пластины.

В качестве свариваемых образцов использовали медные пластины размером 25×25 мм толщинами от 1 до 2 мм и стальные размером $40 \times 40 \times 4$ мм. Угол метания медной пластины изменялся от 0 до 15° .

Сварка электровзрывом осуществлялась при изменении запасаемой энергии блока накопителя от 8 до 14 кДж. Индуктивность разрядного контура составляла примерно 7 мкГн, напряжение 20 - 50 кВ, емкость – 0,5 – 1 мкФ (10 - 16 мкФ), длительность фронта 60 мкс, мощность 5 кВт. Время заряда 10 - 15 с, напряжение заряда – 380 В.

Механические испытания на срез показали, что разрушение соединения происходит в приконтактной зоне со стороны меди, при этом прочность соединений на срез колебалась в узком интервале 180 ± 5 МПа, что находится на уровне прочности основного металла. Это свидетельствует о том, что образующаяся переходная зона сварных соединений не является микроконцентратором разрушения в сварном соединении.

Результаты исследований могут свидетельствовать о перспективности использования электрогидроимпульсного нагружения для получения сварных соединений по типу диффузионного, поскольку образование сварного соединения практически по всей контактной поверхности обеспечивает появление надежного электрического контакта с малым переходным электросопротивлением, которое остается неизменным в процессе работы.

Исследовалось влияние состояния поверхностей свариваемых пластин. Были проведены две серии экспериментов с одинаково обработанными образцами, в одной серии образцы подвергались очистке посредством растворения оксидной пленки при высокой температуре,

а в другой – перед сваркой выдерживались некоторое время в воздухе и покрывались оксидной пленкой.

Минимальная скорость, при которой происходит сварка, для термически очищенных образцов в 2,5 раза меньше, чем для образцов с оксидной пленкой.

Проведенные эксперименты показали, что оптимальный угол метания составляет 8-9°, а запасаемая энергия – 10 кДж для медной пластины толщиной 1 мм и 12,5 кДж для пластины толщиной 2 мм.

Сварка высокоскоростным ударом на указанных параметрах приводит к образованию сварных соединений с площадью до 150 - 200 мм². Это подтверждается исследованиями микроструктуры зоны сварки и механическими испытаниями на отрыв.

Были разработаны условия для получения высококачественных соединений и методика расчета основных узлов ЭГ сварочных установок. Установлено, что полученные сварные соединения обладают достаточной плотностью и прочностью, их коррозионная стойкость в 3 – 5 раз выше, чем стойкость сварных соединений, полученных традиционной сваркой. Новый метод сварки отличается высокой экономической эффективностью по сравнению с другими, в том числе импульсными, методами.

Применение электрогидроимпульсного эффекта для сварки металлов позволяет избежать выбросов окислов железа, марганца, кремния, хрома, фтористые и другие соединения. Таким образом, улучшатся условия работы при выполнении сварки. Отсутствие искр и продолжительного применения высоких температур позволяет свести к минимуму риск возникновения пожара, а также возможности получения ожога обслуживающего персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физические основы электрогидравлической обработки материалов. Под ред. Г.А. Гулого. Киев: Наукова думка. 1978, 177с.
2. Синкевич О.А., Шевченко А.Л. Динамика электрического разряда в жидкости. Препринт ИВТАН № 2-094 – М.: 1982, 24с.
3. Патент на полезную модель 82438. Ким К.К., Ильинский А.С. Устройство для сварки металлов. Опубл. 27.04.09. Б.И. 12

**ОЦЕНКА МЕТОДОВ СИНТЕЗА ХЕЛАТОВ ПЕРЕХОДНЫХ
МЕТАЛЛОВ В СООТВЕТСТВИИ С ПАРАМЕТРАМИ
ЗЕЛЕННОЙ ХИМИИ**

Прошедшее сорокалетие ознаменовалось бурным развитием высокотехнологичной сферы производства. В настоящее время химические соединения и материалы стали рассматриваться не просто как сырье, а как самостоятельные технические изделия. Сформировалась перспектива перехода к техническим элементам молекулярных размеров [1]. Технология сборки молекулярного «прибора», осуществляется методами синтетической химии. В тоже время постоянно возрастает уровень требований высокотехнологичного производства к степени его экологичности.

Одним из направлений развития современного производства химических соединений является масштабирование процессов получения хелатов металлов. Так, например, весьма востребованными являются комплексоны металлов, прочно занимающие позиции в аналитической химии, медицине, нефтяной и газовой промышленности, теплоэнергетике, сельском хозяйстве.

В настоящей работе проведена оценка экологичности наиболее распространенных методов получения хелатов металлов на примере синтеза этилендиаминтетраацетата меди(II). В качестве критериев оценки взяты параметры зеленой химии – E-фактор и атомная эффективность (АЭ).

Известно [2], что E-фактор (отношение массы всех побочных продуктов реакции или процесса к массе целевого продукта) и АЭ (отношение молярной массы целевого продукта к суммарной молярной массе всех веществ уравнения реакции или процесса) позволяют охарактеризовать степень экологичности процесса синтеза или технологии количественно. При этом значение E-фактора должно стремиться к нулю, а АЭ к 100%.

Расчеты данных параметров проведены в соответствии с работой [2] и представлены в таблице. Выбор типов реакций проведен на основании анализа их эффективности при проведении препаративных синтезов [3] и предварительных экономических расчетов себестоимости целевого продукта. Как видно из приведенных данных в таблице наибольшие значения E-фактора наблюдаются для реакций обмена лигандов (реакции 1,2 в табл.) – 0,7-0,4. При этом АЭ составляет 60 -

70%. Необходимо отметить, что в целом E-фактор достаточно низок и его величина лишь немного не достигает лучших значений процессов, характерных для нефтехимии – 0,1, превышая E-фактор при производстве основных химических продуктов – 1-5 при посредственной АЭ [2].

Таблица

Тип реакции	Реакция	E	АЭ, %
1.Обмен лиганда	1. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{H}_2\text{edta} = \text{CuH}_2\text{edta} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$	0,656	60
2.Обмен лиганда	2. $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{H}_2\text{edta} = \text{CuH}_2\text{edta} + 2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,432	70
3.Кислотно-основной	3. $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3 + 2\text{H}_4\text{edta} = 2\text{CuH}_2\text{edta} + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	0,139	88
4.Кислотно-основной	4. $\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{H}_4\text{edta} = \text{CuH}_2\text{edta} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,100	91
5.Кислотно-основной	5. $\text{Cu} + \text{H}_4\text{edta} = \text{CuH}_2\text{edta} + \text{H}_2$	0,006	99
6.Электролиз	6. Анод: $\text{Cu} - e = \text{Cu}^-$ [269,270] Катод: $\text{H}_4\text{edta} + 2e = \text{H}_2\text{edta}^{2-} + \text{H}_2$ Раствор: $2\text{Cu}^- = \text{Cu}^{2+} + \text{Cu}$ $\text{Cu} + \text{H}_4\text{edta} = \text{CuH}_2\text{edta} + \text{H}_2$ $\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{edta}^{2-} = \text{CuH}_2\text{edta}$	0,006	99

Переход к кислотно-основным реакциям (реакции 3,4 в табл.) улучшает E-фактор в 3-13 раз, а АЭ возрастает на ~20-30%. Переход к электрохимическому синтезу и прямому взаимодействию металла и лиганда (реакции 6 и 5 в табл.) дает предельное улучшение значения E-фактора более чем на порядок и доводит АЭ до 99%. По значению E-фактора трудно найти более эффективные процессы, а АЭ может быть выше на 1% только для реакций присоединения.

Улучшение оценочных параметров напрямую связано с уменьшением массы выделяющихся побочных продуктов: для реакций обмена – это соли натрия, для кислотно-основных реакций – вода, а также водород при прямом взаимодействии металла с лигандом и при электрохимическом методе.

В целом, все используемые вещества и продукты реакций не токсичны (см. таблицу). Синтезы осуществляются при температуре окружающей среды и при атмосферном давлении, а риски, связанные с процессом синтеза минимальны. Однако реализация промышленного синтеза на основе реакций обмена требует решения проблемы утилизации солей щелочных металлов, что само по себе значительно уменьшает их привлекательность даже без учета малых выходов и загрязненности целевого продукта. В тоже время прямое взаимодействие металлов и лигандов (реакция 5 в табл.) затруднено вследствие

слабой кислотности лигандов и низкой активности большинства переходных элементов. Так, например, осуществление прямого взаимодействия достаточно активных лантаноидов с лигандом эффективно протекает в присутствии катализатора – безводного иодида лантаноида(III) [4].

Для электрохимического синтеза можно отметить его универсальность для подавляющего большинства металлов и одностадийность. Вместе с тем электролиз в большинстве случаев протекает в неводных средах, обладающих повышенной токсичностью.

Таким образом, выводы о предпочтительности использования методов на основе кислотно-основных реакций и электролизе, сделанные в результате анализа химизма процессов и экономических расчетов, совпадают с выводами, сделанными на основе принципов «зеленой химии». Данные методы имеют исключительно низкое значение E-фактора и близкое к предельно возможному значение атомной эффективности. Также, с точки зрения экологичности процесса, предпочтительнее использование кислотно-основных реакций, так как электролиз в большинстве случаев при получении хелатов металлов осуществляется в среде органических растворителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Координационная химия / В.В. Скопенко [и др.]. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 487 с.
2. Lancaster, M. Green Chemistry: An Introductory Text / M. Lancaster. – The Royal Society of Chemistry 2002. Registered Charity Number 207890. – 310 p.
3. Прямой синтез координационных соединений: Монография / В.В. Скопенко [и др.] – Киев: Вентури, 1997. – 176 с.
4. Facile synthesis of rare-earth pyrazolonates by reaction rare-earth metal with 1-phenyl-3-methyl-4-isobutyryl-5-pyrazolon. Crystal structure of $[\text{Ln}(\text{PMIP})_3]_2$ / A.V. Safronova [et al.] // Inorg. Chim. Acta. – 2012. – Vol. 392, № 3 – P. 454-458.

**СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА МЕТОДОВ СИНТЕЗА
ХЕЛАТОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ЦЕЛЬЮ ИХ МАС-
ШТАБИРОВАНИЯ**

В конце 80-х годов прошлого столетия в СССР (в России и Украине) были проведены попытки по организации промышленного производства β -дикетонатов некоторых *p*- и *d*- металлов. В обоих случаях для получения хелатов использовались технологии, основанные на реакциях обмена. Данные технологии позволяют получать требуемые соединения, однако они имеют ряд ограничений, связанных с выделением чистых целевых продуктов и опасностью их гидратации и гидролиза при использовании водных растворов. Вместе с тем потребности в хелатных соединениях в реальном секторе экономики значительно возросли в настоящее время [1], что по-прежнему ставит вопрос по решению проблемы масштабирования их производства. Вместе с тем в литературе нет данных по систематизации и сравнительной оценке используемых методов синтеза при получении хелатов металлов, что и составило цель данной работы.

В таблице представлены данные встречающихся в литературе методов синтеза хелатов металлов [2-5] (из-за ограничения количества ссылок приведены четыре наиболее значимые с точки зрения авторов работы). Как видно из представленных данных в таблице, при синтезе хелатов металлов используются пять основных типов химических реакций. К ним относятся методы на основе обмена лигандов (1-5, таблица), кислотно-основные превращения (6-9, таблица), электрохимический метод синтеза (10, таблица 6), метод доокисления металла-комплексообразователя (11, таблица) и темплатный синтез (12, таблица). Методы прямого взаимодействия металла и лиганда, доокисления металла-комплексообразователя и электрохимический метод синтеза (9-11, таблица) можно выделить в отдельную подгруппу методов окисления металла. К доокислению металла-комплексообразователя можно отнести и метод на основе взаимодействия карбониллов металлов с лигандом. Кратко охарактеризуем химические особенности всех направлений синтеза хелатов металлов.

Методы с 1 по 5 основываются на обмене лигандов в растворе. Используются как водные растворы, так и органические растворители. Целевой продукт, получаемый в результате реализации методов син-

теза на базе обменно-лигандных процессов, как правило, нуждается в дальнейшей очистке.

Таблица

Наименование метода синтеза	Стадии	Наиболее существенные характеристики метода синтеза
1. Обмен лигандов в водном растворе	1,2	Многokратная перекристаллизация без гарантии глубокой очистки целевого продукта, опасность его гидратации и гидролиза.
2. Обмен лигандов в неводном растворе	1,2	Трудности с подбором растворителя, необходимость соблюдения мер защиты более высокого уровня.
3. Обмен лигандов в неводном растворе с выделением HCl	1	Работа с органическими растворителями, высокая стоимость безводных хлоридов металлов, использование сухих боксов и улавливание HCl.
4. Обмен лигандов в неводном растворе с выделением осадка	2	Трудности с подбором растворителя, необходимость соблюдения мер защиты более высокого уровня.
5. Экстракционный обмен лигандов	1	Работа с органическими растворителями, трудности с подбором растворителя, необходимость соблюдения мер защиты более высокого уровня.
6. Взаимодействие лиганда с оксидом металла	1	Медленное протекание реакции, повышенные энерго- и трудозатраты, опасность гидратации и гидролиза целевого продукта.
7. Взаимодействие лиганда и гидроксида металла	2	Проблемы получения чистых гидроксидов металлов, повышенный расход воды, опасность гидратации и гидролиза целевого продукта.
8. Взаимодействие лиганда и карбоната металла	1,2	Проблема получения карбонатов ряда металлов, опасность гидратации и гидролиза целевого продукта.
9. Прямое взаимодействие металла и лиганда	1	Трудности подбора растворителя, слабая активность ряда металлов и недостаточная кислотность лигандов.
10. Электрохимический синтез	1	Необходимость дополнительного оборудования и расхода электроэнергии.
11. Метод доокисления металла-комплексообразователя	1	Необходимость предварительного получения исходного хелатокомплекса металла с его пониженной степенью окисления, проблема исходных веществ.
12. Темплатный синтез	1	Сложность подбора исходных реагентов и проведения синтеза.

Наиболее эффективна очистка методом сублимации, но она применима только для узкого круга летучих веществ. Очистка целевого продукта путем перекристаллизации требует тщательного контроля. В обоих случаях значительно снижается его выход.

Методы с 6 по 9 основываются на кислотно-основных реакциях. Характерной особенностью методов 6-8, является выделение в ка-

честве побочного продукта воды. В связи с этим, даже при использовании органических растворителей, остается опасность гидратации и гидролиза целевого продукта. Поэтому при получении летучих хелатных соединений f-элементов методы 6-8 имеют ограниченную применимость. С химической точки зрения для d-элементов проблема не столь актуальна, так как гидратная вода может быть удалена из состава хелатов путем нагревания. Однако при получении вещества в больших количествах это приведет к повышенным энергозатратам.

Методы 6 и 9 ограничены слабой химической активностью большинства переходных металлов и их оксидов, а также слабой кислотностью большинства хелатообразующих лигандов.

Для получения гидратированных хелатов d-элементов перспективно применения кислотно-основных реакций лиганда с гидроксидами и карбонатами металлов (7 и 8) в водной среде. Необходимым условием чистоты целевого продукта является индивидуальная для каждого металла схема синтеза, предусматривающая получение в качестве исходного (или промежуточного) вещества соответствующего чистого гидроксида или карбоната металла. Побочными продуктами данных реакций являются вода и двуокись углерода. Поэтому хелаты металлов высокой степени чистоты потенциально можно получать на основе данных кислотно-основных взаимодействий.

Электрохимический метод синтеза (10) является по своей сути универсальным методом получения любых типов хелатов металлов с высокой степенью чистоты. Высокая эффективность метода обусловлена как отсутствием загрязняющих побочных веществ, так и чистотой используемого окислителя – электрического тока. Процесс электрохимического синтеза имеет ряд специфических черт – использование электрического тока в окислительно-восстановительных процессах получения хелатов металлов, совмещение в одновременном акте синтеза процессов окисления-восстановления и формирования координационного соединения, необходимость в специальном оборудовании и потенциальные темплатные возможности метода.

Методы доокисления металла-комплексообразователя (11) занимают отдельное место в систематике процессов получения хелатов металлов. Вместе с тем они носят ограниченный характер и в настоящий момент не могут рассматриваться как перспективные для масштабирования процесса синтеза хелатов металлов.

Темплатный синтез хелатных соединений металлов (12) применим для формирования соединений макромолекулярного характера. В области развития химии макромолекулярных соединений данное направление имеет весьма обширную перспективу. Однако для получе-

ния хелатных соединений с относительно небольшими лигандами (β -дикетоны, комплексоны, карбоновые кислоты и др.) применение темплатного синтеза затруднительно и крайне трудоемко. В связи с этим пока преждевременно рассматривать вопрос о перспективах промышленного производства хелатов металлов на базе темплатных превращений.

Таким образом, на основании систематизации литературных данных и собственного опыта по синтезу хелатных соединений переходных металлов можно констатировать, что при получении данного класса соединений используют реакции пяти типов: обмена лигандов, кислотно-основные превращения, электрохимический метод синтеза, метод до(окисления) металла-комплексообразователя и темплатный синтез. Последние два метода имеют крайне ограниченное применение в настоящее время и не могут рассматриваться в ближней перспективе в качестве основы промышленного производства хелатов металлов. Методы на основе обменных реакций имеют распространенную лабораторную практику. Однако получаемые на их основе вещества нуждаются в контроле чистоты, а их глубокая очистка приводит к значительному снижению выхода. Это позволяет определить методы на основе реакций обмена лигандов, как ограничено годные для масштабирования процесса синтеза. Для получения гидратированных хелатных соединений металлов высокой степени чистоты подходят методы на основе кислотно-основных превращений – взаимодействие лигандов с гидроксидами и карбонатами, а в ряде случаев и с оксидами металлов в водной среде. Данный путь может быть реализован за счет разработки индивидуальной схемы синтеза для каждого в отдельности металла. При получении летучих хелатных соединений переходных металлов весьма перспективен электрохимический метод синтеза в неводных средах. Необходимо отметить его методическую универсальность и возможность использования, как в лабораторной практике, так и для промышленного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Die Bernex CVD-Schichten - robuster Schutz für Hartmetall und Stahl. Dunnschicht Service Zentrum. IonBond AG, CH-4601 Olten, 2005.
2. Суглобов, Д.Н. Летучие органические и комплексные соединения f-элементов / Д.Н. Суглобов, Г.В. Сидоренко, Е.К. Легин – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 208 с.
3. Дятлова, Н.М. Комплексоны и комплексонаты металлов / Н.М. Дятлова, В.Я. Темкина, К.И. Попов – М.: Химия, 1988. – 544 с.

4. Comprehensive Coordination Chemistry II: Fundamentals: ligands, complexes, synthesis, purification, and structure: vol. 1 / Elsevier. Pergamon; ed: Jon A McCleverty (ed.-in-chief) [et al.]. – Oxford, San Diego, 2004. – 837 p.

5. Прямой синтез координационных соединений: Монография / В.В. Скопенко [и др.] – Киев: Вентури, 1997. – 176 с.

УДК 669.24/29.018:[539/25+539/26]

Д. В. Куис, доц., канд. техн. наук, Г.П. Окатова, канд. техн. наук,
Н. А. Свидуневич, проф., д-р. техн. наук, (БГТУ, г. Минск)

В.С. Урбанович, канд. физ.-мат. наук
(НПЦ по материаловедению НАН Беларуси),

П.В. Рудак, доц., канд. техн. наук,

И.Л. Таболич, студент (БГТУ, г. Минск),

В.М. Ойченко, науч. сотр. (ФТИ им. Иоффе г. Санкт-Петербург)

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НАНОУГЛЕРОДА, ПОЛУЧЕННЫЕ СПЕКАНИЕМ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

В настоящее время происходит бурное развитие исследований и разработок в области наноматериалов и нанотехнологий – стратегически важной области исследований в развитых странах. При этом актуальным является поиск путей создания новых материалов с использованием углеродсодержащих наноструктурных добавок (фуллеренов, нанотрубок). Однако цена фуллеренов остается все еще очень высокой и их промышленное применение в технике – вопрос не самого ближайшего будущего. Поэтому проблема поиска возможности замены дорогостоящего фуллерена на более дешевый фуллеренсодержащий материал является актуальной задачей при создании новых нанокompозитных материалов. Таким возможным материалом может служить фуллеренсодержащая сажа, фуллереновая чернь, рентгеноаморфный углерод и другие.

В результате проведения комплекса работ в условиях высоких давлений (4 ГПа) и температур (1200–1500°C) были получены опытные образцы композитов из шихты состава 90% С + 10% Fe. В качестве исходных компонентов использовали экстрагированную нанодисперсную фуллереновую сажу, практически не содержащую фуллеренов, и порошок карбонильного железа с размером частиц 5–100 мкм.

Методами световой и сканирующей электронной микроскопии, рентгеновской дифракции и микрорентгеноспектрального анализа установлено, что полученный нами композиционный материал на ~90% представляет собой сплошную углеродную фазу с аморфной составляющей и нанокристаллитами различной морфологии и степени дисперсности (1,5...14,5 нм), а также содержит не более 7...10% фазы

из дисперсных частиц различного размера на основе карбидов железа, распределенных по объему достаточно равномерно (рис. 1). Установлено, что полученные образцы содержат различные модификации сверхтвердой углеродной фазы серого цвета (рис. 1), преобладающая из которых с микротвердостью до 78 ГПа играет роль связующей, находясь при спекании в квазижидком состоянии.

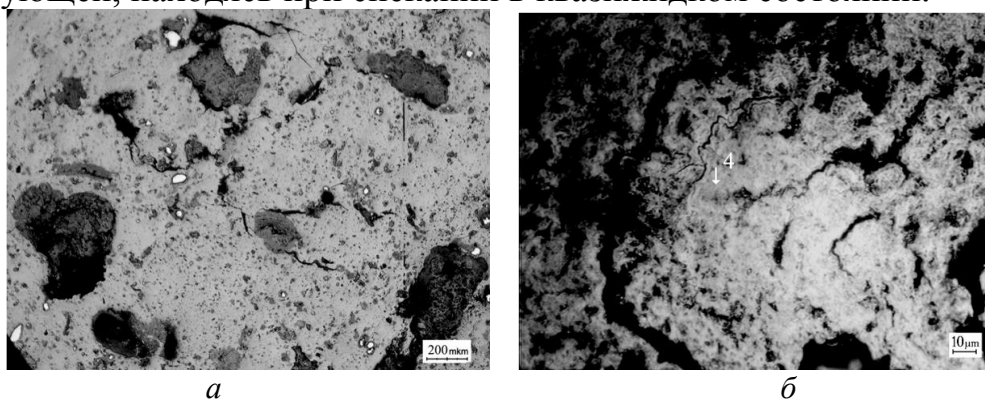


Рисунок 1 – Микроструктура нанокompозита состава 90% С – экстрагированной фуллереновой сажи + 10% Fe: а – общий вид, б – сверхтвердая частица фазы с рельефом "зигзаг крапчатый", Н_ц~107 ГПа; а – ×50, б – ×1000

Микротвердость включений сверхтвердой фазы близка к твердости алмаза, фазы на основе Fe – 9,2...10,8 ГПа. Удельный вес высокотвердого углеродного композита 2,14...2,18 г/см³. Он имеет удельный вес 2,14...2,18 г/см³ и характерный стекловидный излом [1].

Вид связующей серой фазы "основа" в изломе (СЭМ) [1] почти гладкий, характерный для стеклообразного полностью аморфного, не кристаллического углерода, дифракция рентгеновских лучей которого показывает только "аморфное гало".

Поверхность частиц серой фазы с "глобулярным" рельефом с повышением разрешения оказывается в свою очередь состоящей из более мелких "глобул", спаянных между собой (рис. 2, б); элементный микрорентгеноспектральный анализ показал, что сверхтвердые частицы с "глобулярным" рельефом состоят из углерода (рис. 2, в).

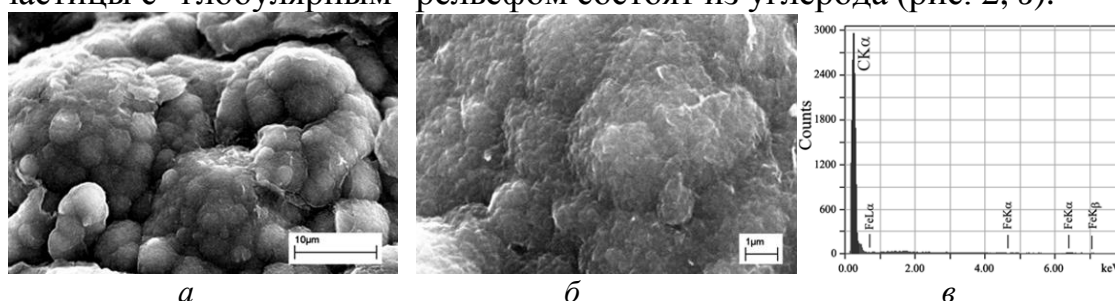


Рисунок 2 – Поверхность супертвердой частицы с "глобулярным" рельефом в изломе образца С-10%Fe, СЭМ (а, б), результаты EDX анализа (в) с площади изображения на рис. а

Серая фаза "основа" – состоит из углерода с включениями Fe от 1,8 до 7-10 масс.% (рис. 3, *a*), что близко к заложенному в шихту количеству – 10% Fe, распределено Fe достаточно равномерно в виде дисперсных частиц различного размера (рис. 3, *б*).

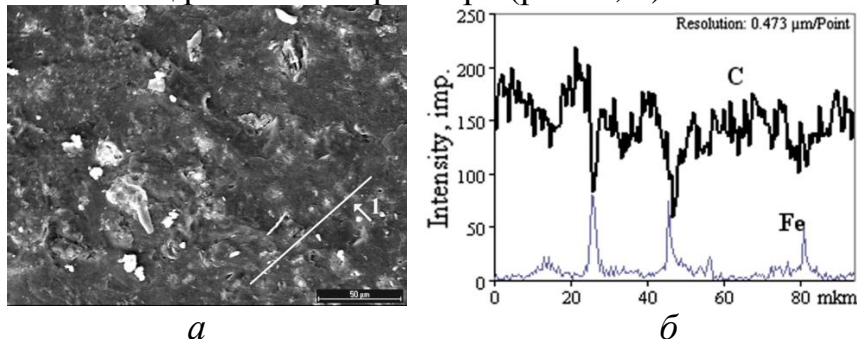


Рисунок 3 – Поверхность серой фазы "основа" в изломе образца С-10%Fe (*a*), результаты EDX анализа (*б*) при сканировании по линии изображения (на рис. *a*, по стрелке 1)

Сложный дифракционный профиль нанокompозита С+10%Fe в интервале углов $2\theta \approx 19...31^\circ$ содержит несколько наложенных рентгеновских линий с широкими, размытыми пиками – "аморфные гало" (рис. 4 линии 2, 3); пик линии 1 соответствует нанокристаллическому состоянию; таким образом, структура углеродного нанокompозита С+10%Fe является рентгеноаморфнонанокристаллической.

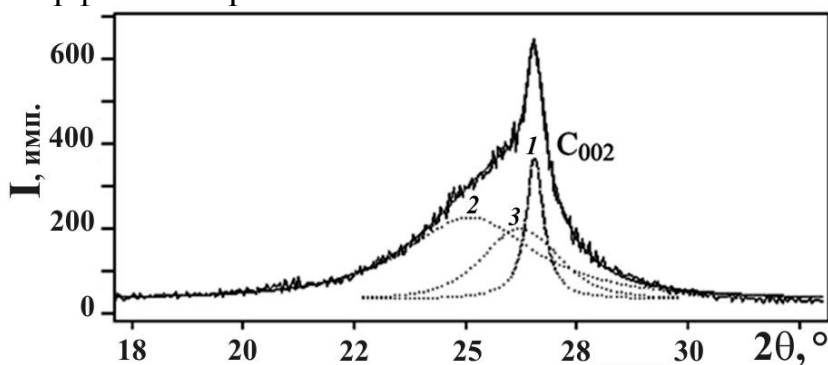
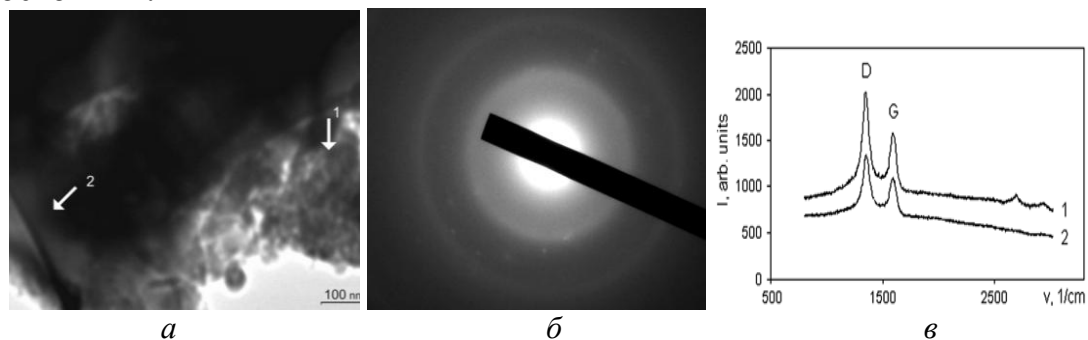


Рисунок 4 – Дифрактограмма нанокompозита С-10%Fe с разложением профиля на синглеты 1, 2, 3.

Для исследования тонкой структуры нанокompозита, уточнения фазового состава и степени разупорядочения кристаллической структуры были использованы методы просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), электронографии в ПЭМ высокого разрешения и Рамановской спектроскопии.

При сквозном просвечивании в ПЭМ в нанокompозите наблюдаются области нанокристаллического строения и

бесструктурные участки (рис. 5, *a*); картина дифракции с бесструктурного участка (рис. 6, *б*) представляет собой два размытых кольца Лауэ, соответствующих первой и второй сферам углерода, свидетельствующих о полном разупорядочении, т. е. аморфном состоянии.



a, *б* – тонкая структура и картина дифракции в ПЭМ, по стрелке 1 – нанокристаллический участок, по стрелке 2 – аморфный участок;
б – картина дифракции с аморфного участка (рис. *a*, по стрелке 2);
в – спектры Раман, типичные для аморфного углерода:
 1 – высокотвердая фаза с "глобулярным рельефом"; 2 – серая фаза "основа".

Рисунок 5 – Результаты анализа нанокompозита $\text{C}_{\text{фс}}-10$ масс.% Fe с использованием ПЭМ и Рамановской спектроскопии

Результаты Рамановской спектроскопии (рис. 5, *в*) подтверждают данные ПЭМ о разупорядочении – аморфизации структуры нанокompозита. Положение D-линии $\nu_D=1350\text{см}^{-1}$ и высокое отношение интенсивностей I_D/I_G типично для аморфного углерода [2].

Таким образом, полученный нанокompозит на основе доступного и дешевого наноуглеродного материала, является аморфным, подобным стекловидному углероду, содержащим сверхтвердые частицы. При этом его твердость является изотропной, то есть одинаково высокой во всех направлениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урбанович, В.С., Куис Д.В., Окатова, Г.П., Свидунович, Н.А., Ойченко, В.М., Баран, Л.В. // Углерод: Фундаментальные проблемы науки, материаловедение, Технология: сб. тезисов 8-ой Междунар. конф., Моск. обл., Троицк. 25-28 сент., 2012. – Троицк: Трoвант. – 2012. – С. 500.

2. Компан, М.Е. Комбинационное рассеяние света в самоформирующемся нанопористом углероде на основе карбида кремния / М. Е. Компан, Д. С. Крылов, В. В. Соколов // Физика и техника полупроводников. – 2011. – Т. 45. – Вып. 3. – С. 316–321.

Д. В. Куис, доц., канд. техн. наук,
А. Свидунович, проф., д-р. техн. наук (БГТУ, г. Минск),
А. Т. Волочко, д-р. техн. наук, А. А. Шегидевич, науч. сотр. (ГНУ
«ФТИ НАН Беларуси», г. Минск),
С. Н. Лежнев, доц., канд. техн. наук (КГИУ, Республика Казахстан),
А. В. Омелюсик, магистрант (БГТУ, г. Минск)
**АЛЮМИНИЕВЫЕ КОМПОЗИТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ
УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ**

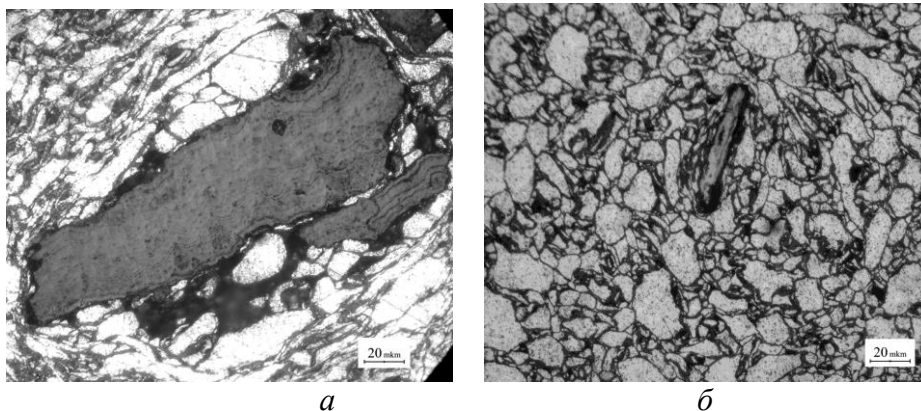
Благодаря комплексу свойств алюминиевые сплавы выгодно отличаются от других металлических конструкционных материалов, что определяет перспективность их использования во многих отраслях промышленности при создании новых устройств и механизмов, а также расширении областей использования при замене сталей и дорогостоящих титановых сплавов с целью уменьшения веса и стоимости конструкций. Однако при повышенных нагрузочно-температурных условиях эти материалы не отвечают требованиям эксплуатации.

Целью данной работы является исследование возможности использования смешанных нанокремниевых форм (фуллереновая сажа, фуллереновая чернь) для получения необходимых свойств алюминиевого композита.

Для получения литого композита использовали основу – алюминий-кремниевый сплав марки АК9, обработанный лигатурой. Лигатуры, содержащие 10 мас. % углерода, вводили в расплав АК9 при температуре 750–780°C. Количество вводимой лигатуры в алюминиевый расплав рассчитывалось из условия 1 мас. % углерода в композите. Для получения лигатур использовали в качестве металлической матрицы измельченную стружку алюминий-кремниевого сплава АК9 и углеродосодержащее сырье в виде фуллереновой сажи (ФС), фуллереновой черни (ФЧ), фуллеренов C₆₀ (Ф) и микрокристаллического графита (Гр) (для сравнения) в соотношении Al – до 10 мас. % С в исходной смеси.

Технология получения лигатуры включала: механоактивационную обработку исходных материалов в планетарной мельнице, компактирование в жестких пресс-формах и горячее экструдирование. Лигатуру получали в виде прутков.

Исследование структуры алюминиевых лигатур, где в качестве исходных добавок использовали наноструктурированный углерод в виде Ф, ФС и ФЧ, выявило необычные частицы серого цвета (20–200 мкм) (рис. 1).



a – Al-Si + 10% ФЧ, $\times 500$; *б* – Al + 10% ФС, $\times 500$
Рисунок 1 – Структура образцов лигатур Al-Si-C

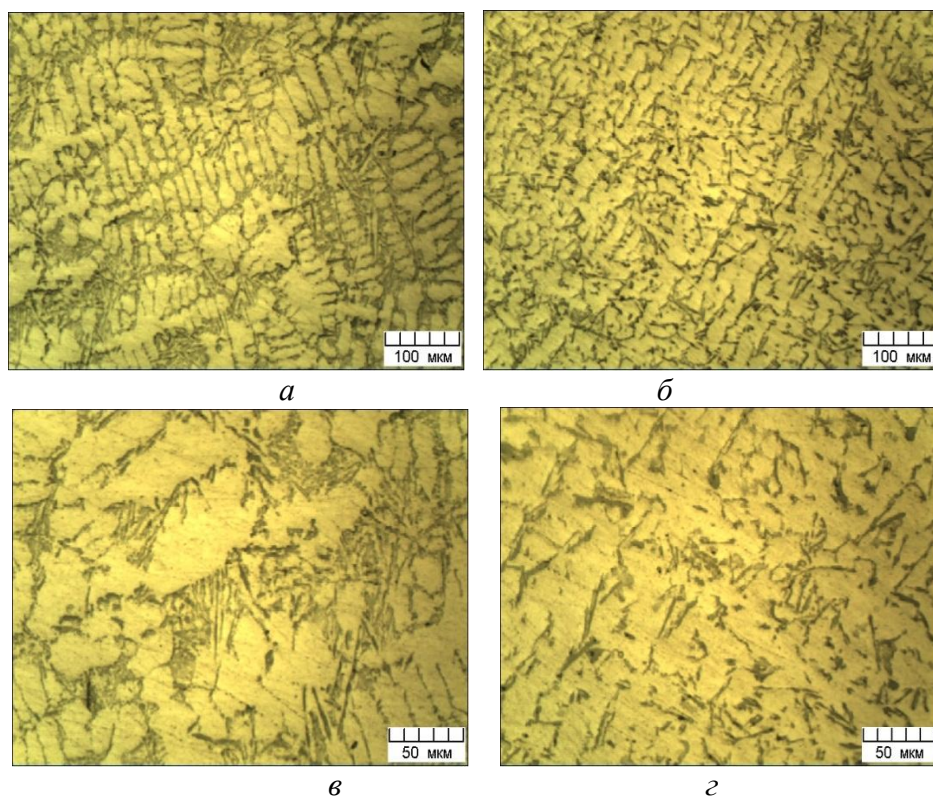
Исследование данных частиц показало, что измерить твердость стандартными методами не представляется возможным, так как алмазная пирамидка не оставляет на них отпечатка или съезжает на мягкую алюминиевую основу. Вместе с тем микрорентгеноспектральным анализом EDX установлено, что эти частицы являются углеродными. Картина микродифракции серой частицы представляет собой два размытых кольца Лауэ, соответствующих первой и второй сферам углерода, свидетельствующих о полном разупорядочении, т.е. аморфном состоянии данной частицы [1].

Как отмечалось ранее, такие частицы содержат все изготовленные с наноструктурированным углеродом лигатуры – и с ФС, и с ФЧ, и с Ф. При этом исследования не выявили принципиальных отличий в структурообразовании лигатур Al-Si-C, полученных с использованием дорогостоящего фуллерена, и лигатур, полученных с использованием более дешевых наноструктурированных материалов (ФЧ, ФС), что делает их перспективными для промышленного освоения.

Исследования на спектрометре комбинационного рассеяния света показали, что спектр, полученный при изучении сверхтвердой углеродной частицы, представляет собой два характерных узких непрекрывающихся пика в области $1340, 1580 \text{ см}^{-1}$. Это подтверждает данные о разупорядочении – аморфизации серых фаз. Положение Д-линии $\nu_d=1340 \text{ см}^{-1}$ и высокое отношение интенсивностей I_d/I_g типично для аморфного углерода подобного стекловидному [2].

Исследования показали, что при обработке алюминиевого расплава лигатурами с синтезированными стеклоуглеродоподобными частицами наблюдается существенное изменение структуры сплава основы, а, следовательно, и его свойств. Одновременно с этим при введении лигатуры с Гр таких изменений нет.

Сплав АК9 в исходном состоянии характеризуется резкой неоднородностью структуры и включает α -твердый раствор, эвтектику и ряд достаточно крупных интерметаллидных (15–30 мкм) фаз (рис. 2, а, в). Дендриты также достаточно крупные и их размер находится в диапазоне 50–200 мкм. Твердость сплава составляет 70 НВ. При введении в расплав матричного сплава лигатуры со стеклоуглеродоподобными частицами из расчета содержания в сплаве 1 мас. % углерода формируется композит, структура которого значительно отличается от исходного сплава. Это проявляется в диспергировании всех структурных составляющих композиционного материала (рис. 2, б, в).



а, в – исходного силумина АК9; *б, г* – литого композита с использованием лигатуры

Рисунок 2 – Микроструктура сплава

Структура характеризуется высокой дисперсностью, при этом она более однородна и равномерна по сравнению с исходной, а дендриты α -фазы слабо выражены. Твердость этого композита в литом состоянии составляет более 100 НВ. Одновременно с этим введение лигатуры, содержащей Гр, в расплав никак не отразилось на структуре сплава-основы и свойствах в целом.

Проведенные триботехнические испытания показали, что введение в расплав стеклоподобных углеродных частиц способствует снижению интенсивности изнашивания в сравнении с исходным – матричным сплавом. Так, использование микрокристаллического графита

позволяет снизить интенсивность изнашивания до $I_m=7,1\cdot 10^{-3}$ мг/м, что обеспечивает повышение износостойкости этого композита в 3 раза по сравнению с матричным сплавом. Еще более выраженный эффект повышения износостойкости (более чем 5 раз) наблюдается при использовании лигатур со стеклоподобными углеродными частицами, при этом интенсивность изнашивания получаемых композитов находится в пределах $I_m=4,2-4,7\cdot 10^{-3}$ мг/м.

Таким образом, поэтапно изучены структурное состояние и свойства литых алюминиевых композитов, полученных с применением ультрадисперсного углеродсодержащего сырья. Такие материалы могут найти широкое применение при создании объектов новой техники, отличающихся высокими техническими характеристиками, в частности, для прецизионных деталей машиностроения, изделий, работающих на трение при повышенных нагрузочно-скоростных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности структурного состояния лигатур Al–C / Д. В. Куис [и др.] // Углеродные наночастицы в конденсированных средах: сб. науч. статей VII Междунар. конф. «Фуллерены и наноструктуры в конденсированных средах» и III школы-семинара «Наноструктуры и наноматериалы: теоретические и прикладные аспекты», 9-12 июня 2013 г., г. Минск. – С. 120-126.

2. Chu, L. Li. Characterization of amorphous and nanocrystalline carbon films / L. Li. Chu // Materials Chemistry and Physics. – 2006 (96). – P. 253–277.

3. Беленков, Е. А. Гибридные наноалмазы и родственные углеродные материалы. Компьютерное моделирование / Е. А. Беленков, В. В. Ивановская, А. Л. Ивановский. – Екатеринбург, 2008.

УДК 621.793

С. Д. Латушкина, канд. техн. наук (ФТИ НАН Беларуси, г. Минск),
Д. В. Куис, канд. техн. наук, П. В. Рудак, канд. техн. наук,
О. Ю. Пискунова, инж. (БГТУ, г. Минск),
О. И. Посылкина, науч. сотр.,
А. Г. Жижченко, науч. сотр. (ФТИ НАН Беларуси, г. Минск)

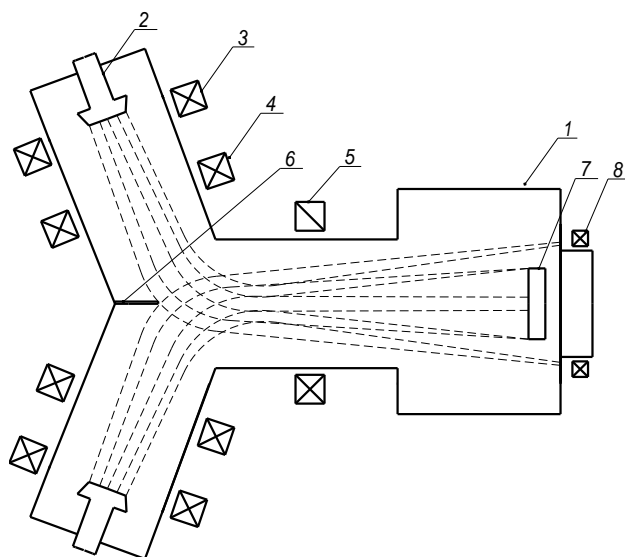
ИЗНОСОСТОЙКИЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ

Работоспособность режущего инструмента может быть повышена благодаря такому изменению поверхностных свойств инструментального материала, при котором контактная зона инструмента

будет наиболее эффективно сопротивляться абразивному, адгезионному, коррозионно-окислительному и другим видам износа при повышенных температурах и характеризоваться достаточным запасом прочности при сжатии, изгибе и наличии ударных нагрузок [1].

В настоящей работе проводилось исследование физико-механических свойств вакуумно-плазменных многокомпонентных покрытий на основе TiN, легированного Al, Cr, Cu с целью определения оптимальной концентрации легирующей компоненты, обеспечивающей повышение защитных свойств покрытий.

Для формирования многокомпонентных покрытий использовалась вакуумно-дуговая модернизированная установка УРМЗ.279.048, оснащенная сепаратором макрочастиц (рис. 1) [2]. Для получения покрытий были использованы катоды из титана, алюминия, хрома, меди. В качестве реакционного газа был выбран азот. Изменение фазового состава покрытий обеспечивалось изменением тока дугового разряда на дополнительном катоде (алюминиевом, титановом, медном). Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ покрытий с различным содержанием меди проводился с помощью дифрактометра ДРОН-3 в интервале углов $\sim 30\text{--}120^\circ$ в фильтрованном Cu-K_α -излучении. Использование основных характеристик дифракционных максимумов позволило рассчитать параметр решетки (d), размер областей когерентного рассеяния (L).



1 – корпус; 2 – дуговые испарители; 3, 4, 5, 8 – электромагнитные катушки;
6 – экран для удаления капельной фазы; 7 – подложка

**Рисунок 1 – Модернизированная серийная установка УРМЗ.279.048
для дугового осаждения покрытий**

Поверхность и структура пленок исследовалась на растровом электронном микроскопе РЭМ S-4800 Hitachi. Состав покрытий определялся электронным микрозондом EPMA; JEOL, JXA 8500-F. Трибологические свойства осажденных покрытий определяли на трибометре при следующих параметрах: контртело – шарик \varnothing 5,5 мм, изготовленный из стали ШХ15, нагрузка на контртело 0,4 Н, скорость 120 об/мин, радиус 10 мм, время испытаний 1–8 часов. Микротвердость покрытия измеряли нанотвердомером Duramin при нагрузке 25 г. Для определения шероховатости покрытий использовался профилометр 296-ой модели цеховой с цифровым отсчетом и индуктивным преобразователем.

Как показали исследования структуры и морфологии осажденных покрытий, использование сепарирующей системы позволило осаждать покрытия без макрочастиц, отрицательно влияющих на физико-механические свойства конденсата. Исследование влияния технологических параметров на структурно-механические характеристики осаждаемых покрытий позволило установить корреляционные зависимости микротвердости, размера зерна от элементного состава материала покрытия (табл.). Согласно анализу полученных результатов, можно предположить, что повышенные значения периода решетки для покрытий систем (Ti,Al)N и TiN/Cu обусловлены высоким уровнем сжимающих напряжений. Также четко просматривается зависимость микротвердости покрытий от размера зерна. Установлено, что изменение размера зерна существенно влияет на микротвердость формируемых покрытий. Многие исследователи указывают, что микротвердость покрытий во многом зависит от среднего размера зерен [3–5]. Причем авторы работы [3] уточняют, что при формировании однослойных покрытий существует средний критический размер зерна, до величины которого обеспечивается рост микротвердости. Дальнейшее уменьшение среднего размера зерен приводит к снижению микротвердости за счет проскальзывания по межзеренным границам. Эффективное торможение данного процесса возможно в случае формирования наноструктуры с упрочнением межзеренных границ. Можно предположить, что такой эффект возникает при формировании многокомпонентных электродуговых покрытий. Данные, полученные рядом ученых [6, 7], указывают на то, что увеличение твердости материала возможно при уменьшении размеров зерна до 10–25 нм.

Изменение свойств покрытий (Ti,Al)N с увеличением концентрации алюминия в покрытии связано с изменением типа кристаллической решетки: от кубической для TiN к решетки типа вюрцита AlN.

Таблица – Структурные и механические характеристики многокомпонентных покрытий

Покрытие	I, А титанового катода	P·10 ⁻² , Па	I, А дополнительного катода	%		d, нм	L, нм	H, ГПа
				Ti	легирующий элемент			
Ti-Al-N	55	0,6	40	88,4	11,6	0,421	10	36
			50	84,1	15,9	0,419	12	37
			60	49,8	50,2	0,419	15	28
			70	34,6	65,4	0,418	28	20
Ti-Cr-N	55	0,6	50	76,0	24,0	0,423	18	34
			60	74,1	25,9	0,423	17	34
			70	53,5	46,5	0,424	21	37
			80	43,5	56,5	0,425	19	38
TiN/Cu	55	0,6	40	98,5	1,5	0,424	21,5	42
			50	98,0	2,0	0,424	22	40
			60	85,0	15,0	0,424	76	17

Таким образом, проведенные исследования позволили установить оптимальное содержание легирующего элемента для каждого вида покрытий. Для подтверждения этих выводов проводились исследования фрикционных свойств осаждаемых покрытий. В качестве сравнительного критерия был выбран коэффициент трения (рис. 2).

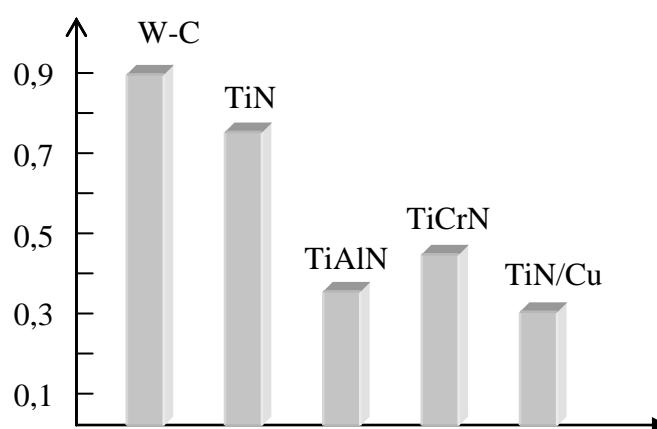


Рисунок 2 – Коэффициент трения вакуумно-дуговых покрытий на твердом сплаве (материал контртела – сталь ШХ15)

Как видно из полученных результатов, легирование покрытий на основе TiN позволяет существенно изменить механические характеристики покрытий, обеспечивая повышение эксплуатационных свойств изделий с покрытиями. Однако выбирая состав материала защитного слоя, всегда необходимо учитывать условия работы инструмента с покрытием, тем самым повышая эффективность его использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васин, С. А. Резание материалов: термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании / С. А. Васин, А. С. Верещака, В. С. Кушнер. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. – 448 с.
2. . Латушкина, С.Д., Романов, И.М., Куис, Д.В., Жижченко, А.Г., Гапанович, О.И. Нанокompозитные покрытия (Ti,Al) N, осажденные из сепарированной вакуумно-дуговой плазмы // Вести НАН Беларуси. – №3. – 2012. – С. 39-43.
3. Кунченко, В.В., Андреев, А.А. Карбонитриды титана, полученные вакуумно-дуговым осаждением // ВАНТ, Сер.: Физ. рад. поврежд. и рад. материаловед.– 2001. – № 2 (90). – С. 116–120.
4. Вершина, А.К., Латушкина, С.Д. Защитные Ti(NC)-покрытия, формируемые из сепарированных потоков плазмы вакуумной дуги // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: сб. материалов 10-ой международной научно-практической конференции. Ч. 2. С.-Петербург, 15–18 апреля 2008г. С. 90–95.
5. PalDey, S., Deevi, S. C. Single Layer and Multilayer Wear Resistant Coatings of (Ti,Al)N: A Review Materials Science and Engineering, A 342, 2003: pp. 58–79.
6. Кунченко, Ю.В., Кунченко, В.В., Неклюдов, И.М., Картмазов, Г.Н., Андреев, А.А. Слоистые Ti-Cr-N покрытия, получаемые методом вакуумно-дугового осаждения // ВАНТ, Сер.: Физ. рад. поврежд. и рад. материаловед.– 2007. – № 2 (90). – С. 203–214.
7. Сергеев, В.П., Федорищева, М.В., Воронов, А.В., Сергеев, О.В., Яновский, В.П., Псахье, С.Г. Трибомеханические свойства и структура нанокompозитных покрытий $Ti_{1-x}Al_xN$ // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т.309. – №2. – С. 149–152.

УДК 537.633.2

В. Р. Мадьяров, доцент, канд. физ.-мат. наук,
(БГТУ, г. Минск)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ СВЧ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Для определения параметров электронного переноса полупроводниковых материалов применяются бесконтактные методы, с помощью которых можно избежать влияния на результат измерения побочных ЭДС [1]. Из этих методов измерения СВЧ-диапазона пред-

ставляются наиболее перспективными, так как позволяют определить подвижность, удельную электропроводность и диэлектрическую проницаемость материала. По результатам измерения этих параметров можно оценить концентрацию носителей, время релаксации и эффективную массу носителей заряда.

В работе [2] получены и экспериментально проверены соотношения для определения параметров переноса носителей заряда в слаболегированном кремнии по измеренным значениям коэффициента затухания СВЧ-излучения, проходящего через тонкую полупроводниковую пластину, и угла поворота плоскости поляризации этого излучения в магнитном поле.

В данной работе предложена и экспериментально проверена методика бесконтактного определения времени релаксации носителей заряда в плоских образцах примесных полупроводников, в основе которой лежит измерение фазового сдвига зондирующей волны на частотах $\sim 10^{11}$ Гц.

Соотношение для частотного сдвига диэлектрической проницаемости, определяющего изменение фазы зондирующей СВЧ-волны [2]:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon - \varepsilon_{\text{ст}} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0[1 + (2\pi\nu\tau)^2]}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{\text{ст}}$ – диэлектрическая проницаемость в постоянном электрическом поле; $\sigma_0 = ne^2\tau / m^*$ – удельная проводимость на постоянном токе (n – концентрация носителей заряда; e – элементарный заряд; τ – время релаксации; m^* – эффективная масса носителей); ε_0 – диэлектрическая постоянная; ν – частота волны. Из (1) можно получить время τ , если измерить $\Delta\varepsilon$ на различных частотах. Частотная зависимость $\Delta\varepsilon$ будет заметно сказываться, если $2\pi\nu\tau \sim 1$. Значения τ составляют обычно 10^{-12} – 10^{-13} с, поэтому частоты, на которых целесообразно проводить измерения, лежат в диапазоне ~ 50 – 100 ГГц. В этом диапазоне частот из (1) можно получить приближенное выражение для времени τ через тангенс угла наклона частотной зависимости $\Delta\varepsilon(\nu^2)$:

$$\tau = \left[\frac{\varepsilon_0}{4\pi^2\sigma_0} \frac{d(\Delta\varepsilon)}{d(\nu^2)} \right]^{\frac{1}{3}}. \quad (2)$$

Частотные измерения диэлектрической проницаемости проводились на двулучевом интерферометре, собранном по схеме фазовой компенсации. В качестве источника зондирующей волны применялся генератор Г4-142, рабочая частота которого перестраивается в диапазоне 30–80 ГГц. Значение сдвига диэлектрической проницаемости

рассчитывалось по измеренному фазовому сдвигу $\Delta\varphi$ прошедшей волны. Точность определения фазового угла составляла около $0,5^\circ$. Измерения проводились на образцах кремния и германия *n*-типа толщиной 0,55 и 0,45 мм соответственно. Предварительно измерялся эффективный коэффициент пропускания образцов, по величине которого определялись коэффициент пропускания образца за один проход k_1 и удельная проводимость. Учет многократных отражений приводит к формуле коэффициента k_1 в области высоких частот:

$$k_1 = \frac{e^{-\alpha d}(1-\rho^2)}{[1-\rho^2(1-\rho)e^{-2\alpha d}]} = \frac{k_0(1-\rho^2)}{[1-\rho^2(1-\rho)k_0^2]}, \quad (3)$$

где α – коэффициент поглощения зондирующего излучения; d – толщина образца; ρ – измеренное значение коэффициента отражения от поверхности образца; k_0 – измеренный эффективный коэффициент пропускания.

На рис. 1 и 2 представлены зависимости частотного сдвига диэлектрической проницаемости $\Delta\varepsilon$ от частоты для образцов *n*-Si и *n*-Ge. Сплошные кривые построены путем расчета диэлектрической проницаемости по формуле (1) для значений времени релаксации $\tau = 2 \cdot 10^{-13}$ и $8 \cdot 10^{-13}$ с (соответственно кривые 1 и 2). Значение $\varepsilon_{ст}$, которое использовалось в расчетах, измерялось при комнатной температуре и составило 16,4 для германия и 11,9 для кремния.

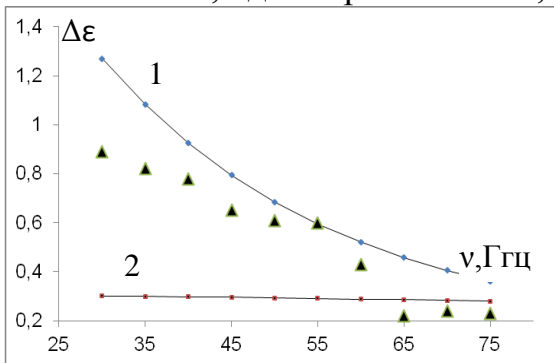


Рисунок 1 - Расчетные и измеренная зависимости частотного сдвига диэлектрической проницаемости от частоты для образцов *n*-Ge, $\sigma_0 = 16$ См/м, $d = 0,55$ мм ($T = 295$ К)

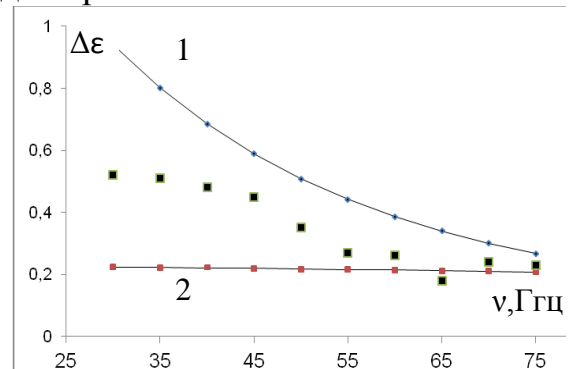


Рисунок 2 - Расчетные и измеренная зависимости частотного сдвига диэлектрической проницаемости от частоты для образцов *n*-Si, $\sigma_0 = 16$ См/м, $d = 0,55$ мм ($T = 295$ К)

Значения $\Delta\varepsilon$, определенные по измеренному сдвигу фазы, укладываются между указанными расчетными кривыми до частоты ~ 50 ГГц. На более высоких частотах наблюдается увеличение разброса величины сдвига $\Delta\varepsilon$. Для образца кремния этот разброс несколько меньше и наблюдается на более высоких частотах. Анализ данных показывает, что кривые, полученные для измеренных значений τ ,

лучше всего соответствуют времени $\tau \sim (3-5) \cdot 10^{-13}$ с. Такое значение по порядку величины соответствует времени релаксации носителей вследствие их рассеяния на тепловых колебаниях решетки.

Температурные зависимости времени релаксации, определяемого по формуле (2) с учетом коэффициента отражения (3) с использованием измеренных частотных зависимостей $\Delta\varepsilon$ в диапазоне 200–400 К, показывают, что время релаксации можно аппроксимировать зависимостями $\tau = 7 \cdot 10^{-10} T^{-1,34}$ для Ge и $\tau = 3,8 \cdot 10^{-10} T^{-1,28}$ для Si.

Для невырожденного полупроводника в рассматриваемой области температур основным механизмом, влияющим на подвижность, является рассеяние на тепловых колебаниях решетки. Поэтому подвижность носителей в таких полупроводниках должна быть обратно пропорциональна температуре [3]. Оценка подвижности для кремния с использованием значения $\tau = 3 \cdot 10^{-13}$ с (при $T = 295$ К) и эффективной массы $m^* = 0,55m_0$ (m_0 – масса электрона) дает $\mu = e\tau / m^* = 0,16$ м²/В·с, что хорошо согласуется с известными данными.

Таким образом, полученные значения времени релаксации и подвижности хорошо согласуются с известными данными. В сочетании с методами определения концентрации и удельной проводимости предлагаемая методика может применяться как вспомогательная для определения эффективной массы и подвижности носителей заряда в полупроводниковых материалах в широком температурном диапазоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучис, Е. В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования / Е. В. Кучис. – М.: Советское радио, 1990. – 263 с.
2. Мадьяров, В. Р. Определение параметров переноса носителей заряда в полупроводниках с помощью СВЧ-зондирования // В. Р. Мадьяров, Т. В. Пуцко // Труды БГТУ. – 2012. – Сер. VI, № 6. физ.-мат. науки и информатика. – (153), 2012. – С.88–90.
3. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов / С. Зи. – М.: Мир, 1984. – 455 с.

Н. Н. Крук, д-р физ.-мат. наук
Д. В. Кленицкий, доцент, канд. физ.-мат. наук
(БГТУ, Минск)

НОВЫЕ МЕТОДЫ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ДИАГНОСТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕТРАПИРРОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Разработка высокочувствительных молекулярных сенсоров для определения концентрации различных субстратов в жидкой и газовой фазах является одной из актуальных междисциплинарных проблем. В настоящее время ведется активная работа по поиску и оптимизации новых молекулярных структур, которые способны к эффективному взаимодействию с субстратами различной природы. При создании молекулярных рецепторов важное место занимают вопросы селективности в отношении того или иного субстрата, которая рассматривается как селективность связывания, когда рецептор способен связать только определенный тип субстрата, и/или селективность распознавания, когда отклик рецептора дифференцируется в зависимости от природы связанного субстрата. Возможные механизмы оптического отклика молекул-рецепторов при связывании различных субстратов изучены достаточно хорошо, однако имеющиеся в литературе данные указывают на то, что уникальный потенциал тетрапиррольных соединений при создании оптических сенсоров на ионы, органические основания и ряд других соединений, использован недостаточно.

Необходимость создания высокочувствительных сенсоров для работы в реальном масштабе времени и методик оперативного высокочувствительного мониторинга для их применения в различных системах вызвали резкое увеличение количества научных и прикладных исследований в этом направлении в последнее десятилетие. Ожидается, что сознание молекулярных термометров с использованием тетрапиррольных соединений, обладающих термохромными свойствами, ион-чувствительных материалов на основе способных к образованию водородных связей с анионами протонированных форм тетрапиррольных соединений и лиганд-чувствительных материалов на основе способных к аксиальной координации молекул металлокомплексов порфиринов позволит сделать новый качественный скачок в создании люминесцентных сенсоров на основе тетрапиррольных соединений.

Класс тетрапиррольных соединений включает в себя классические порфирины и порфиразины, у которых пиррольные кольца соединены мостиками метинового типа, а также макрогетероциклические соединения с расширенным и сокращенным макроциклами. К последним относятся корролы, у которых два пиррольных фрагмента

соединены C_a-C_a связью, что обусловлено отсутствием одного из атомов углерода в *мезо*-положении. Отсутствие одного C_m атома углерода приводит к изменению контура π -сопряжения и характера альтернирования связей в макроцикле. Поэтому корролы отличаются от порфиринов наличием трех протонов в ядре тетрапиррольного макроцикла вместо двух и снижением молекулярной симметрии. Наличие трех протонов обуславливает существенные различия в механизме и скоростях NH таутомеризации корролов. Пониженная симметрия корролов (не выше C_s) по сравнению с порфиринами (D_{2h}) подразумевает, что два таутомера различаются геометрией и электронной структурой (Рисунок 1). Это открывает возможности для регистрации NH таутомерных форм для любого производного корролов, независимо от периферического замещения, даже в жидких растворах при комнатных температурах, в отличие от порфиринов, где NH таутомеры симметрично замещенных производных структурно и спектрально неразличимы. Таким образом, любое изменение равновесия между двумя NH таутомерами коррола может оказать влияние на форму спектра поглощения в основном состоянии, спектров люминесценции, а так же в целом на спектральные и фотофизические свойства, зависящие от физико-химических свойств раствора в целом.

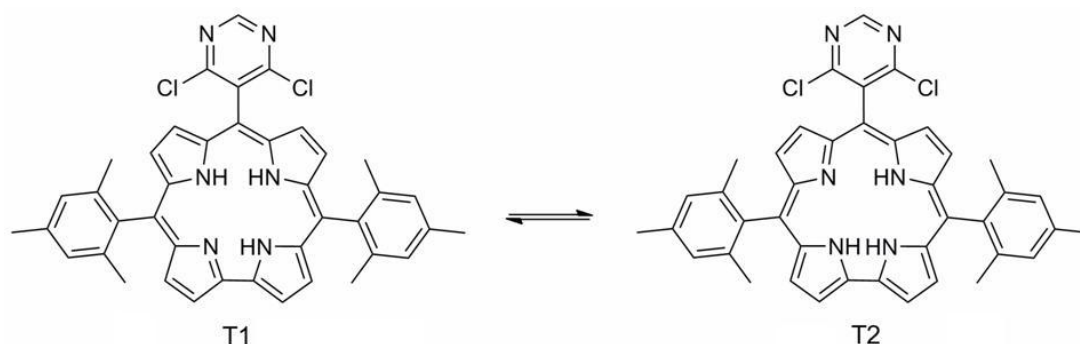


Рисунок 1 - Схема NH таутомеризации 10-(4,6-дихлоропиримидин-5-ил)-5,15-димезитилкоррола (далее H_3AB_2 -коррол).

Исследование корролов получило новый импульс в последние полтора десятилетия после разработки новых эффективных методов синтеза *мезо*-три-арил-корролов. В жидких растворах при комнатной температуре корролы действительно сосуществуют в виде двух NH таутомеров, которые отличаются электронными спектрами поглощения [1-4], спектрами флуоресценции [2-3], основностью и кислотностью макроциклического ядра [1,3-4]. Показано, что в возбужденном синглетном S_1 состоянии имеет место NH таутомеризация, что приводит к переключению канала излучательной дезактивации энергии

электронного возбуждения при изменении температуры [2]. На основании четырехорбитальной модели Гоутермана и квантово-химических расчетов сделано однозначное отнесение электронных спектров поглощения к молекулярным структурам с определенным расположением протонов [4]. Фотофизические характеристики корролов могут быть адекватно описаны с учетом явления внутреннего тяжелого атома [5].

Как было отмечено выше, корролам свойственна дуальная флуоресценция, обусловленная сосуществованием в растворах двух NH-таутомеров, и легкость формирования протонированной и депротонированной форм. Предлагается использовать формирование характерных спектрально-люминесцентных откликов (Рисунки 2 и 3) на данные структурные превращения для создания новых люминесцентных методов определения кислот и оснований в растворах, а также температуры в конденсированной фазе, поскольку как таутомерное, так и кислотно-основные равновесия являются температурно-зависимыми.

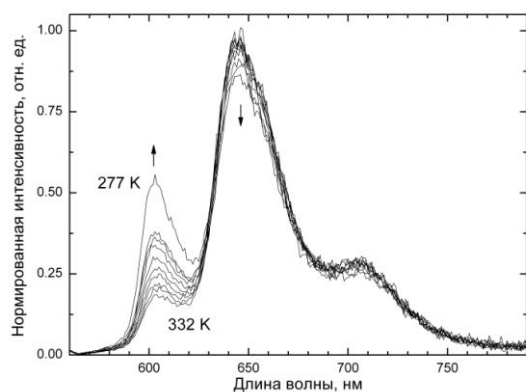


Рисунок 2 - Температурная зависимость спектров флуоресценции H_3AB_2 -коррола. Стрелки указывают направление спектральных изменений при уменьшении температуры

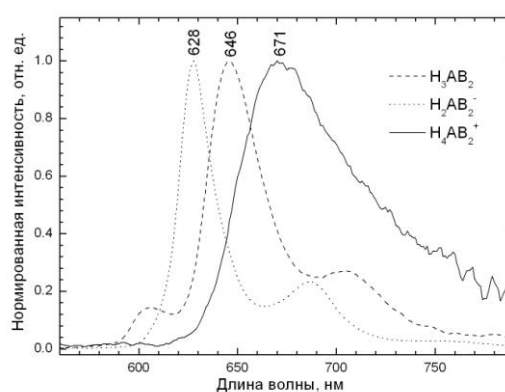


Рисунок 3 - Спектры флуоресценции свободного основания H_3AB_2 -коррола и его протонированной и депротонированной форм

При изменении температуры происходит изменение вкладов NH таутомеров в суммарный спектр флуоресценции: при высоких температурах доминирует флуоресценция длинноволнового таутомера T1, а при понижении температуры существенно возрастает вклад коротковолнового таутомера T2. Это явление температурного “переключения” свечения двух NH таутомеров обусловлено понижением вероятности $T2 \rightarrow T1$ таутомеризации в возбужденном S1-состоянии при уменьшении температуры. Изменение формы спектра сопровождается существенным возрастанием суммарного квантового выхода флуоресценции раствора, которое обусловлено различием величин кванто-

вого выхода флуоресценции двух NH таутомеров. Так, квантовый выход флуоресценции $\Phi_{\text{фл}}$ таутомера T1 в этаноле составляет 0,045, а величина $\Phi_{\text{фл}}$, измеренная для таутомера T2, равна 0,155.

Образование протонированной H_4AB_2^+ и депротонированной H_2AB_2^- форм коррола сопровождается заметными изменениями в спектрах поглощения и флуоресценции. При этом следует отметить, что спектры флуоресценции этих трех форм имеют слабое спектральное перекрытие, что при сравнимых величинах квантовых выходов флуоресценции позволяет без труда идентифицировать появление протонированных либо депротонированных продуктов, а по их концентрации, в свою очередь, определить pH раствора.

Таким образом, совокупность спектрально люминесцентных свойств корролов, рассмотренная на примере 10-(4,6-дихлоропиримидин-5-ил)-5,15-димезитилкоррола позволяет сделать вывод о перспективности разработки на базе данных соединений люминесцентных сенсоров для измерения температуры и pH растворов. Низкая цитотоксичность корролов позволяет предположить использование таких молекулярных сенсоров/зондов в биологии и медицине.

ЛИТЕРАТУРА

1 Ivanova Yu. B. [et al.] Corrole NH Tautomers: Spectral Features and Individual Protonation // Journal of Physical Chemistry, A. – 2012. – Vol. 116, № 44. – P. 10683 – 10694.

2 Kruk M. M. [et al.] Unraveling the Fluorescence Features of Individual Corrole NH Tautomers // Journal of Physical Chemistry, A. – 2012. – Vol. 116, № 44. – P. 10695 – 10703.

3 Kruk M. M. [et al.] Solvent-Dependent Deprotonation of meso-Pyrimidinylcorroles: Absorption and Fluorescence Studies // Journal of Physical Chemistry, A. – 2012. – Vol. 116, № 44. – P. 10704 – 10711.

4 Beenken W. [et al.] Molecular Structures and Absorption Spectra Assignment of Corrole NH tautomers // Journal of Physical Chemistry, A. – 2014. – Vol. 118, № 3. – P. 862 – 871.

5 Nastasi F. [et al.] Luminescence of meso-pyrimidinylcorroles: relationship with substitution pattern and heavy atom effects // Photochem. Photobiol. Sci. – 2011. – V.10. – P. 143 – 150.

В.В. Поплавский, доц., канд. физ.-мат. наук;
В.Г. Матыс, доц., канд. хим. наук
(БГТУ, г. Минск)

**ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ ТОПЛИВНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНОЛА И ЭТАНОЛА С
ПРИМЕНЕНИЕМ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ
ИОННО-АССИСТИРУЕМОГО ОСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ**

Перспективы развития альтернативной водородной энергетики предполагают производство водорода, его хранение, распределение и использование для выработки электрической энергии с применением топливных элементов, в которых химическая энергия топлива превращается непосредственно в электроэнергию. В последнее время интенсивно ведутся исследования по созданию топливных элементов с прямым окислением органических спиртов (метанола и этанола). Применение органических топлив вместо водорода позволяет снять проблему получения, очистки, хранения и распределения водорода, упростить систему подачи топлива. Электрохимические процессы, лежащие в основе принципа действия топливных элементов, эффективно протекают только при наличии катализаторов, основу которых составляет платина. Высокая стоимость электрокатализаторов выдвигает требование поиска новых методов формирования каталитических слоев с целью снижения расхода платины.

Наряду с традиционными химическими методами приготовления нанесенных катализаторов перспективными представляются вакуумные методы. В частности, обработка поверхности материалов ускоренными ионами металлов обеспечивает возможность введения в тонкий приповерхностный слой контролируемых количеств легирующей примеси на наноразмерном атомном уровне.

Целью работы явилось формирование электрокатализаторов топливных элементов окисления метанола и этанола на основе углеродного носителя с применением технологии ионно-ассистируемого осаждения (IBAD – ion beam assisted deposition) платины из плазмы вакуумного электродугового разряда в режиме, при котором в качестве ассистирующих процессу осаждения используются ускоренные ионы осаждаемого металла.

Активные слои электрокатализаторов сформированы ионно-ассистируемым осаждением платины на углеродный носитель AVCarb[®] Carbon Fiber Paper P50; Ballard Material Products Inc., предназначенный для изготовления диффузионных слоев мембранно-электродных блоков низкотемпературных топливных элементов с полимерным мембранным электролитом. Осаждение металла и перемешивание осаж-

даемого слоя с атомами поверхности подложки ускоренными ионами того же металла осуществляется в экспериментальной установке из нейтральной фракции пара и ионизированной фракции плазмы вакуумного дугового разряда импульсного электродугового ионного источника, соответственно. Для ускорения ионов использовалось напряжение 10 кВ; давление в рабочей камере составляло 10^{-2} Па.

Микроструктура и состав получаемых поверхностных слоев исследованы с применением сканирующей электронной микроскопии и электронно-зондового микроанализа (микроскоп JSM-5610 LV JEOL и энергодисперсионный анализатор EDX JED-2201 JEOL; $E = 20$ кэВ), спектрометрии резерфордовского обратного рассеяния ионов ^4He (ускоритель AN-2500 High Voltage Engineering Europe; $E_0 = 1,3$ МэВ), рентгеновского флуоресцентного анализа (спектрометр PANalytical Axios).

Активность электрокатализаторов в процессах окисления метанола и этанола исследована методом циклической вольтамперометрии (потенциостат ПИ-50 1). Измерения проведены в растворах метанола и этанола в серной кислоте ($1\text{M CH}_3\text{OH} + 0,5\text{M H}_2\text{SO}_4$ и $1\text{M C}_2\text{H}_5\text{OH} + 0,5\text{M H}_2\text{SO}_4$) при 20°C .

По данным электронно-микроскопического анализа морфология формируемых каталитических слоев практически повторяет структуру подложки (рис. 1а,б). Исследование методом электронно-зондового микроанализа обнаруживает, что в состав слоев входят атомы платины, материала углеродной подложки, а также примеси сорбированного кислорода. Анализ распределения осажденного металла, углерода и кислорода показывает, что атомы элементов в составе слоя распределены по поверхности практически равномерно. Кроме того, имеются кластеры осаждаемого металла размером порядка нескольких микрометров, наличие которых обусловлено осаждением капель металла из электродугового ионного источника (рис. 1).

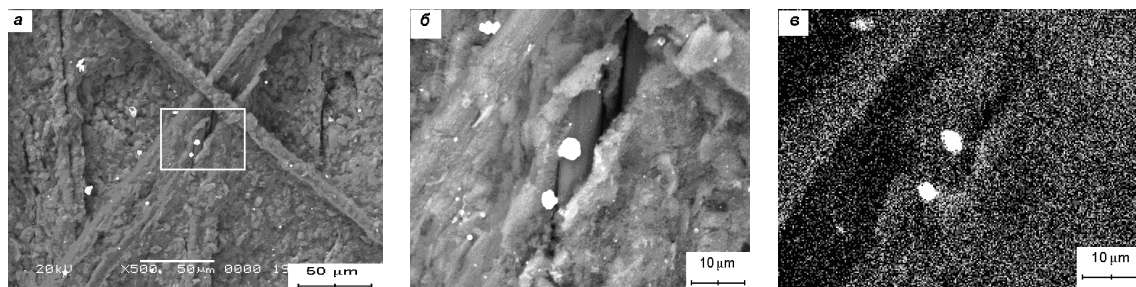


Рисунок 1 - Электронно-микроскопические снимки (а, б) электрокатализатора, сформированного ионно-ассистированным осаждением платины на углеродный носитель AVCarb[®] Carbon Fiber Paper P50; в – карта распределения платины по поверхности электрокатализатора

Исследования методами резерфордовского обратного рассеяния и рентгеновского флуоресцентного анализа подтверждают состав формируемых слоев. По данным, полученным при обработке спектров резерфордовского обратного рассеяния, толщина каталитических слоев составляет ~30–100 нм, концентрация атомов осажденного металла в максимуме распределения – несколько атомных процентов, содержание атомов платины в слое – $\sim 2 \times 10^{16}$ ат/см² (рис. 2).

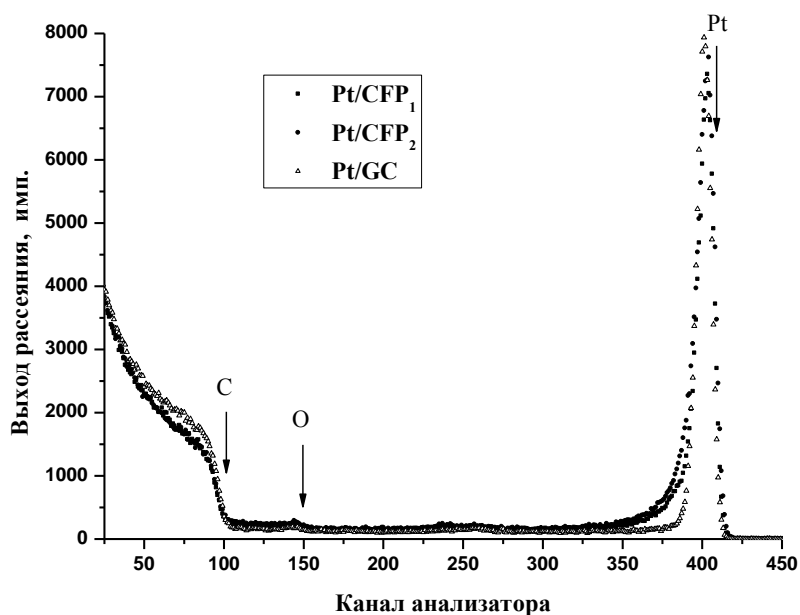


Рисунок 2 - Спектры резерфордовского обратного рассеяния ионов ⁴He от поверхности углеродного носителя AVCarb[®] Carbon Fiber Paper P50 (CFP) и стеклогуглерода (GC) со слоями, сформированными ионно-ассистированным осаждением платины

Полученные путем ионно-ассистированного осаждения платины и последующей термообработки электрокатализаторы проявляют достаточно высокую активность в процессах окисления как метанола, так и этанола (рис. 3). Электрохимическое окисление спирта в сернокислом растворе на циклических вольтамперограммах проявляется в виде специфических пиков тока при изменении потенциала электрода как в анодном, так и в катодном направлениях. Причем, значения плотности тока окисления значительно выше, чем на платиновом электроде.

Ионно-лучевое формирование каталитического слоя, прочно связанного с матрицей вследствие внедрения ионов в подложку-носитель, осуществляется при незначительных затратах платины в вакуумных условиях и, как правило, в один, максимум два технологических приема, что выгодно отличается от традиционных многостадийных химических методов приготовления нанесенных катализаторов, основанных на

пропитке носителя раствором соединения платины, его восстановления до металлической платины, сушку и т. д.

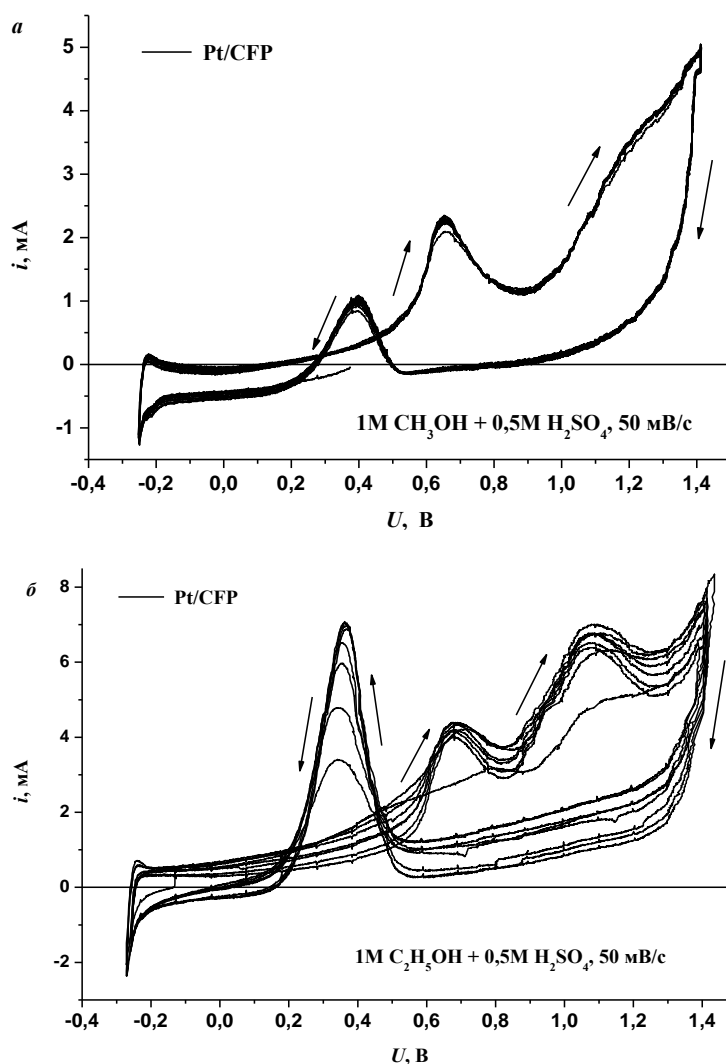


Рисунок 3 - Циклические вольтамперограммы электрокатализаторов, сформированных осаждением платины на углеродный носитель AVCarb[®] Carbon Fiber Paper (CFP), полученные в растворах 1M CH₃OH + 0,5M H₂SO₄ (а) и 1M C₂H₅OH + 0,5M H₂SO₄ (б)

Содержание платины в получаемых активных слоях менее 0,05 мг/см², в то время как в применяемых в настоящее время электрокатализаторах оно составляет ~0,5–5 мг/см². На основе сформированных электрокатализаторов и ионообменной мембраны Nafion[®] N 115 изготовлены мембранно-электродные блоки топливных элементов прямого окисления метанола и этанола (DMFC и DEFC) с размером площади рабочей поверхности 5 см².

Работа выполнена в рамках государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Энергоэффективность»

В.В. Поплавский, доц., канд. физ.-мат. наук;
В.Г. Матыс, доц., канд. хим. наук
(БГТУ, г. Минск)

СОСТАВ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ НА СТАЛЯХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АЛЮМИНИЯ И АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ОТ КОНТАКТНОЙ КОРРОЗИИ

Алюминий и его сплавы в контакте со сталями могут подвергаться интенсивной коррозии. В частности это имеет место при фиксации конструкций на основе алюминия с помощью стального крепежа. Одним из методов защиты алюминия и его сплавов от контактной коррозии является нанесение на стальные детали металлических покрытий, гальванически совместимых с алюминием. Наиболее подходящими являются кадмиевые и цинковые покрытия. Гальванические методы осаждения таких покрытий не лишены недостатков, важнейшие из которых связаны как с экологическими, так и с техническими проблемами. В этой связи целесообразно исследовать возможности применения альтернативных гальваническому вакуумных методов формирования покрытий.

В работе проведены ресурсные испытания контактной коррозии алюминия А7 и сплава Д16 с образцами углеродистой стали Ст3 и нержавеющей стали 12Х18Н9Т, на поверхность которых осаждены кадмий и цинк. Причем осаждение металлов осуществлено двумя методами: гальваническим и вакуумным. Электрохимическое осаждение кадмия проведено из аммиачного раствора, содержащего CdSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и H_3BO_3 ; осаждение цинка – из щелочного раствора, включающего ZnO , NaOH и блескообразователь; полученные покрытия подвергались пассивации в растворе, содержащем Cr(III) . Предварительно подложки подвергались механическому полированию и многостадийным процессам химического обезжиривания и травления. Толщина гальванических покрытий составляет 12 мкм. Вакуумное осаждение металлов проведено методом ионного ассистирования (IBAD – ion beam assisted deposition) в режиме, при котором осаждение металла и перемешивание осаждаемого слоя с атомами подложки ускоренными напряжением $U = 5$ кВ ионами того же металла осуществляются из нейтральной фракции пара и ионизированной плазмы вакуумного дугового разряда. Подложки подвергались лишь механическому полированию и обезжириванию в этаноле.

Микроструктура и состав получаемых поверхностных слоев исследованы с применением сканирующей электронной микроскопии и электронно-зондового микроанализа (микроскоп JSM-5610 LV JEOL и

энергодисперсионный анализатор EDX JED-2201 JEOL; $E = 20$ кэВ), и спектрометрии резерфордовского обратного рассеяния ионов ^4He (ускоритель AN-2500 High Voltage Engineering Europe; $E_0 = 1,2$ МэВ).

Анализ слоев, получаемых ионно-ассистированным осаждением кадмия и цинка, методами электронно-зондового микроанализа (рис. 1) и спектрометрии резерфордовского обратного рассеяния (рис. 2) показывает, что в их состав входят атомы осаждаемого металла, материала подложки, а также примесей кислорода и углерода.

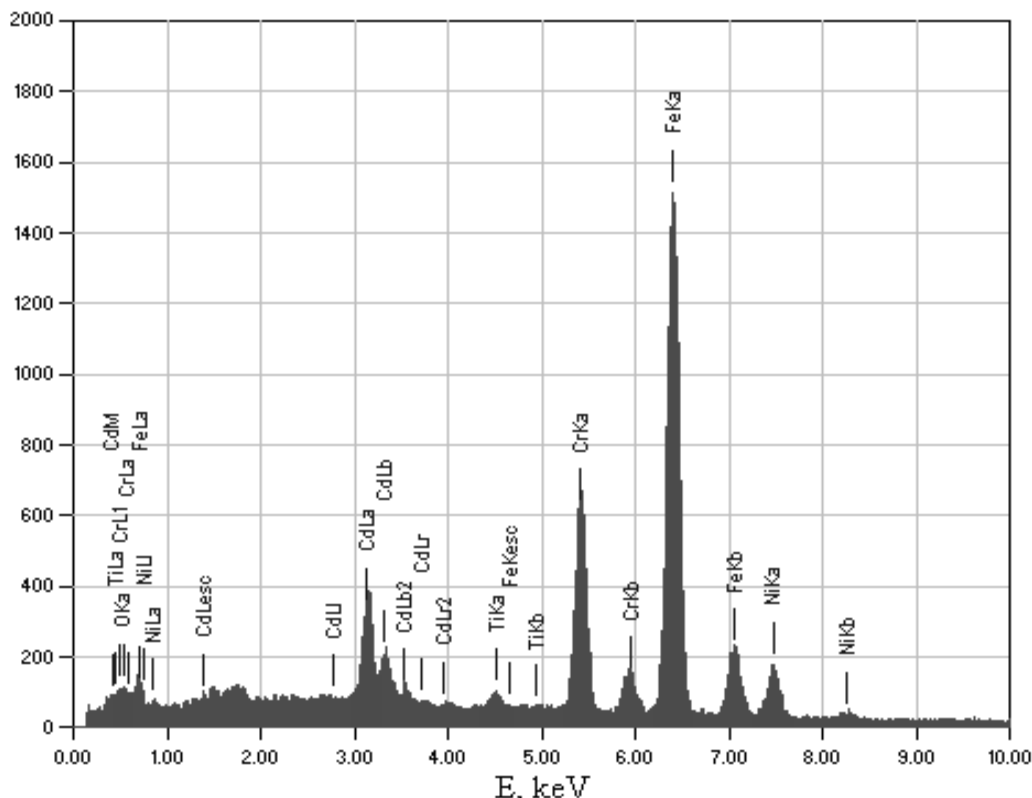


Рисунок 1 - Спектр характеристического рентгеновского излучения атомов элементов, входящих в состав слоя, полученного ионно-ассистированным осаждением кадмия на сталь 12Х18Н9Т

По данным, полученным при обработке спектров резерфордовского обратного рассеяния (рис. 2), толщина слоев составляет $\sim 30\text{--}100$ нм; интегральное содержание атомов осаждаемых металлов на поверхности составляет $\sim 10^{16}\text{--}10^{17}$ см $^{-2}$.

При изучении свойств покрытий исходные и модифицированные образцы сталей включались в состав гальванических пар с алюминием марки А7 и сплавом Д16. Ресурсные испытания проведены методом погружения в раствор 3% NaCl + 0,1 % H $_2$ O $_2$ в соответствии с ГОСТ 9.913-90 в течение 20 суток со сменой раствора каждые 5 суток. Для испытаний изготовлена специальная ванна, позволяющая погружать в

раствор одновременно 21 гальванопару. Показатели коррозии определены на основе измерений потерь массы исследуемых образцов.

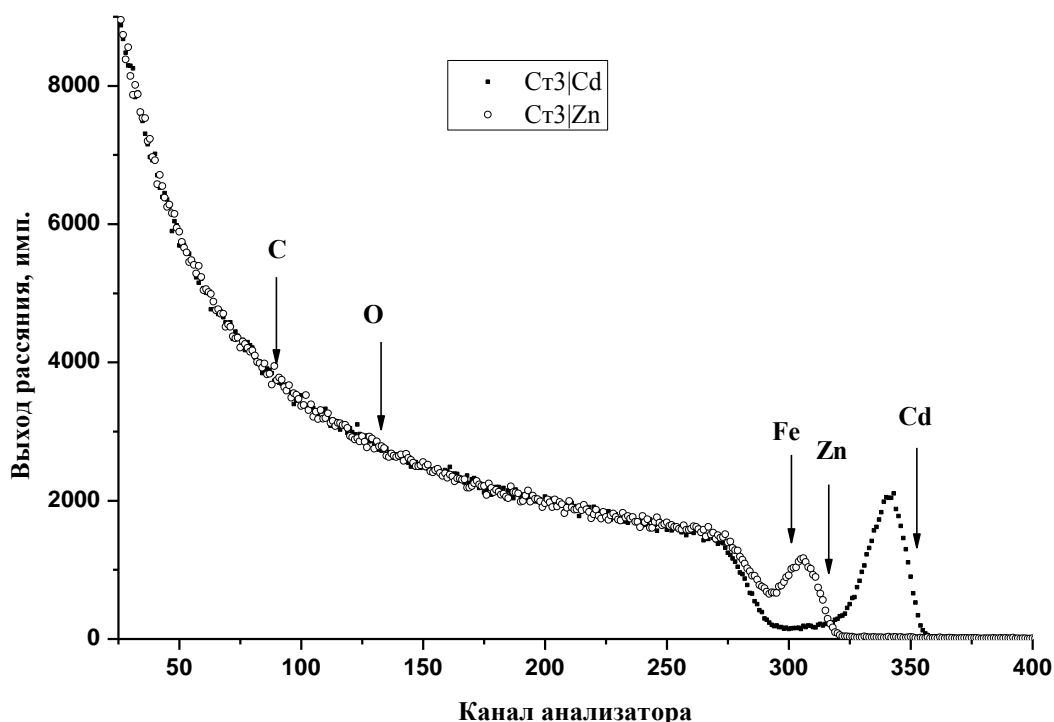


Рисунок 2 - Спектры резерфордовского обратного рассеяния ионов ^4He от поверхности стали Ст3 со слоями, сформированными ионно-ассистированным осаждением кадмия и цинка

Результаты испытаний в виде значений скорости коррозии алюминия А7 и сплава Д16 в гальванических парах с углеродистой и нержавеющей сталями без покрытий и со слоями, сформированными методами вакуумного и гальванического осаждения цинка и кадмия, обобщены на рис. 3а и рис. 3б.

Скорость контактной коррозии сплава выше, чем алюминия. Наибольшая скорость коррозии отмечается для сплава Д16 в контакте со сталью Ст3 (1,7 г/(см²·год)).

Гальваническое осаждение на стальные подложки цинка и кадмия приводит к существенному снижению скорости контактной коррозии алюминия и сплава от двух до 30 раз. Причем осаждение цинка лучше защищает от контактной коррозии алюминий, тогда как скорость контактной коррозии сплава Д16 меньше при осаждении на стали кадмиевых покрытий.

Ионно-ассистированное осаждение цинка и кадмия на стали также приводит к снижению скорости контактной коррозии алюминия и сплава Д16. Однако эффект невелик. Наибольшее снижение скорости коррозии (в 2–3 раза) имеет место при осаждении цинка и кадмия на

нержавеющую сталь, тогда как при осаждении металлов на сталь Ст3 снижение скорости коррозии составляет лишь около 10 %.

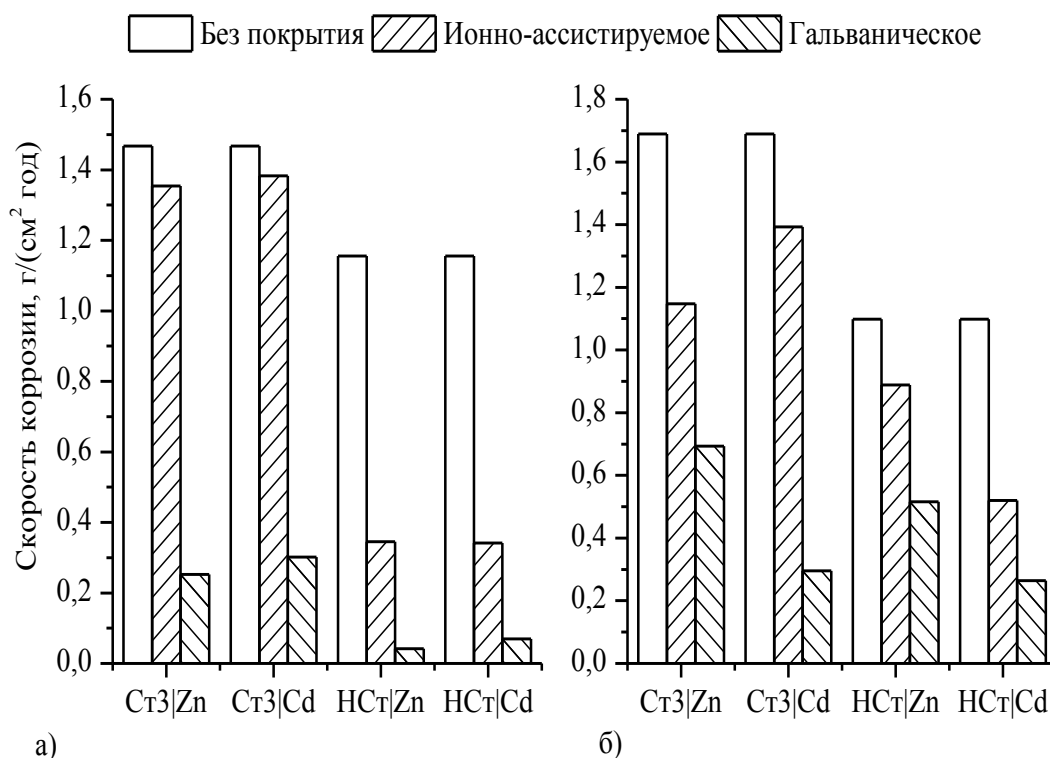


Рисунок 3 - Скорость коррозии алюминия А7 (а) и сплава Д16 (б) в парах со сталью Ст3 и нержавеющей сталью с различными покрытиями

В то же время следует учесть, что толщина многокомпонентных слоев, получаемых ионно-ассистируемым осаждением металлов, не более 100 нм, тогда как толщина гальванических покрытий составляет 12 мкм. При такой малой толщине слоев в ресурсных испытаниях не ожидалось получить значительного эффекта снижения скорости контактной коррозии. Учитывая толщину покрытий можно заключить, что ионно-ассистируемое осаждение металлов оказывает существенное влияние на скорость контактной коррозии алюминия и алюминиевого сплава. В сравнении с гальваническим вакуумное осаждение отличается простотой подготовки поверхности подложек, одностадийностью, экологической безопасностью и экономичностью.

Работа выполнена в рамках государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Гальванические технологии».

УДК 640.120, 640.124

Н.Е. Акулич, магистрант; Н.П. Иванова, доц., канд. хим. наук;
И. И. Курило, доц., канд. хим. наук;
И.М. Жарский, проф., канд. хим. наук
(БГТУ, г. Минск)

ИНГИБИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ВАНАДАТОВ МЕТАЛЛОВ

Для защиты металлических изделий от атмосферной коррозии широко используются лакокрасочные покрытия, среди которых наиболее распространенными являются алкидные. В качестве антикоррозионных пигментов предлагается использовать ортованадаты таких металлов как висмут, кальций, цинк и другие, ввиду их лучших экологических характеристик по сравнению с хроматными пигментами.

Пигмент BiVO_4 синтезировали по методике сольвотермического метода путем смешивания растворов ортованадата натрия и кислого раствора нитрата висмута с последующем прокаливании при 500°C в течение 1 ч [1]; пигмент $\text{Ca}_4\text{V}_2\text{O}_9$ получали спеканием оксидов при 1300°C [2], пигмент $\text{Zn}_3(\text{VO}_4)_2$ – спеканием оксидов при 150°C в течение 1 ч с последующем обжигом при 600°C в течение 6 ч [3].

Для оценки ингибирующих свойств ортованадатов металлов в работе использованы электрохимические методы исследования – изучение временной зависимости стационарного потенциала и снятие потенциостатических поляризационных кривых с использованием потенциостата ПИ-50-1 с программатором ПР-8 [4]. Измерение потенциала образцов из углеродистой стали 08кп проводили при температуре $21 \pm 1^\circ\text{C}$ относительно хлорсеребряного электрода сравнения в течение 24 ч. Коррозионная среда – 3% NaCl . Плотность тока коррозии $i_{\text{корр}}$ в системах углеродистая сталь – суспензия пигмента определяли графически путем пересечения значения стационарного потенциала и прямолинейного участка анодной поляризационной кривой, который при необходимости экстраполировали.

Катодные и анодные потенциостатические кривые стали 08кп в растворе суспензий при перемешивании представлены на рисунке 1. Плотность тока коррозии стали 08кп в 3% NaCl (кривые 1, 1') составляет $2,512 \text{ mA/cm}^2$ (при перемешивании).

Анодные и катодные поляризационные кривые углеродистой стали в суспензиях с исследуемыми пигментами сдвигаются в область меньших токов. Ток коррозии углеродистой стали в суспензии с BiVO_4 , прокаленного при 500°C , составляет $0,032 \text{ mA/cm}^2$ (2, 2', рисунок 1). С введением $\text{Ca}_4\text{V}_2\text{O}_9$ в 3% NaCl ток коррозии стали уменьшается до $0,281 \text{ mA/cm}^2$ (4, 4'), для пигмента $\text{Zn}_3(\text{VO}_4)_2$ – до $0,431 \text{ mA/cm}^2$ (3, 3').

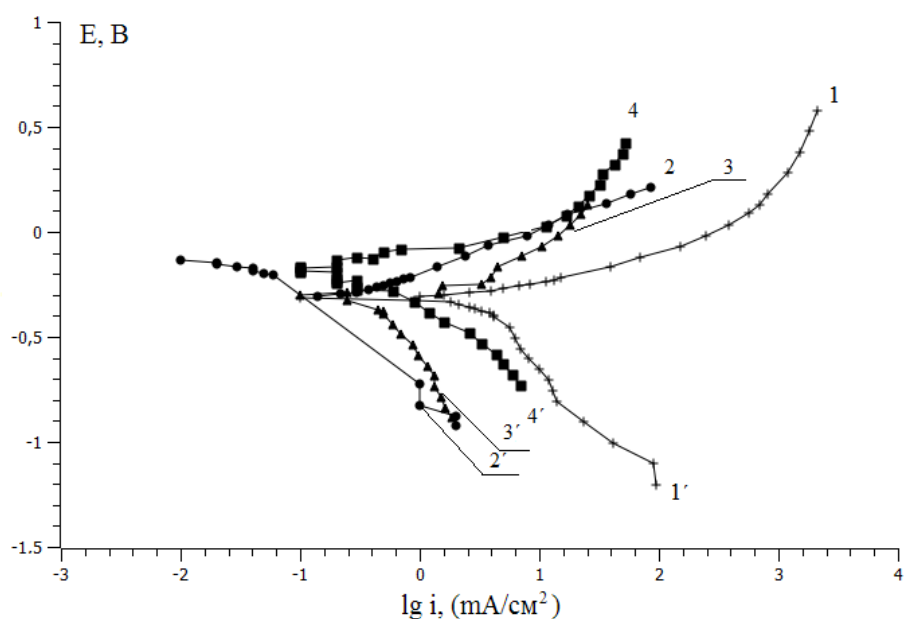


Рисунок 1 – Поляризационные кривые стали 08кп: 1, 1' – в 3% NaCl; 2, 2' – в растворе суспензии пигмента BiVO_4 в 3% NaCl; 3, 3' – в растворе суспензии пигмента $\text{Zn}_3(\text{VO}_4)_2$ в 3% NaCl; 4, 4' – в растворе суспензии пигмента $\text{Ca}_4\text{V}_2\text{O}_9$ в 3% NaCl. Концентрация пигментов 5 г/дм^3 .

На рисунке 2 представлены зависимости токов коррозии углеродистой стали в суспензиях, содержащих ванадаты висмута, цинка и кальция при различных концентрациях. С увеличением концентрации пигмента с 1 г/дм^3 до 5 г/дм^3 скорость коррозии углеродистой стали в 3% NaCl уменьшается.

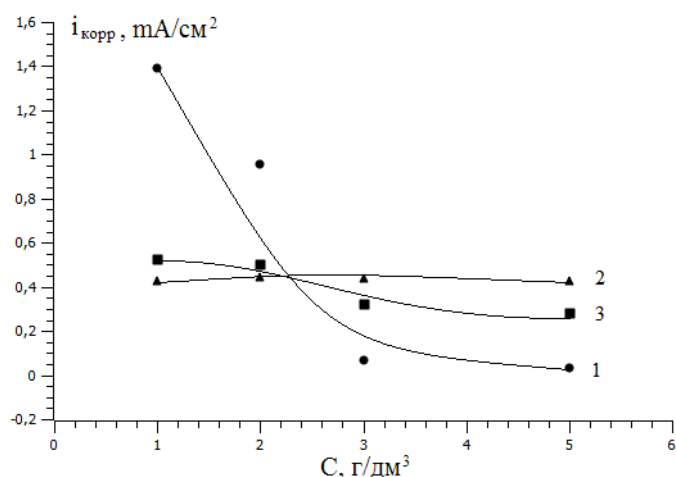


Рисунок 2 – Зависимость тока коррозии углеродистой стали в суспензии, содержащей: 1 – BiVO_4 ; 2 – $\text{Zn}_3(\text{VO}_4)_2$; 3 – $\text{Ca}_4\text{V}_2\text{O}_9$.

Наибольшие ингибирующие свойства проявляет ванадат висмута при его концентрации в 3% NaCl $3\text{--}5 \text{ г/дм}^3$, что объясняется, его высокой дисперсностью ($10\text{--}0,5 \text{ мкм}^{-1}$) и, по-видимому, хорошей адсорб-

ционной способностью, приводящей к большему экранированию металлической поверхности стального электрода. Укрывистость ванадата висмута, прокаленного при 500°C, составляет 0,803 г/см³, маслосмолность первого рода – 14 г/100 г, что характерно для большинства пигментов, применяемых в лакокрасочной промышленности. Низкая маслосмолность и высокая дисперсность пигментов дают возможность применять их для очень твердых покрытий и тонких лакокрасочных пленок.

Таким образом, синтезированный сольвотермическим методом ванадат висмута можно рекомендовать для использования в качестве пигмента в лакокрасочной промышленности ввиду его высоких антикоррозионных и физико-механических свойств, хорошей укрывистости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Механизм структурообразования ортованада висмута при сольвотермическом синтезе / О.В. Опимах [и др.] // Неорганические материалы – 2014. – Том 50, № 4. – С. 448–452.

2. Способ получения ванадата кальция: пат. 1186573 СССР, МПК С 01 G 31/00, 9/00 В.А. Фотиев, С.М. Чешницкий, Г.В. Вазуев; заявитель Институт химии Уральского научного центра АН СССР – заявл. 08.02.84; опубл. 23.10.85 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам // База патентов СССР [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?lockId=L4ZDJWJ40FWRWAIXWK&hitListURL=LLFNFCLZI&Index=11. – Дата доступа: 04.10.2014.

3. Способ получения ванадата цинка: пат. 1527166 СССР, МПК С 01 G 31/00, 9/00 Т.И. Красненко, А.А. Фотиев, Н.Д. Жилиева, Л.В. Андрионова; заявитель Институт химии Уральского научного центра АН СССР – заявл. 09.03.88; опубл. 07.12.89 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам // База патентов СССР [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?lockId=L456ZDJWJ40FWRWAIXWK&hitListURL=LLFNFCLZI&Index=11. – Дата доступа: 04.10.2014.

4. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии. / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 351 с.

Д. С. Харитонов, магистрант;
И. И. Курило, канд. хим. наук, доц.;
Е. В. Крышилович, ассист.;
И. М. Жарский, канд. хим. наук, проф.
(БГТУ, г. Минск)

ПОЛУЧЕНИЕ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ ПИГМЕНТОВ ИЗ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

В ряде промышленно развитых стран количество ванадия, получаемого из вторичного ванадийсодержащего сырья, составляет значительную долю от общего объема, производимого из традиционного сырья, которым являются титаномагниевые руды.

В настоящее время в Республике Беларусь ведутся активные исследования по разработке способов переработки ванадийсодержащих промышленных отходов: продуктов сгорания углеводородного сырья на тепловых электростанциях (ТЭС), отработанных ванадиевые катализаторов серноокислотного производства (ОВК), кокса термоконтактного крекинга и гудронов. Концентрация ванадия в них в 10–100 раз превышает его содержание в титаномагниевых рудах (примерно 0,14–0,17% в пересчете на V_2O_5). Комплексная переработка промышленных отходов позволяет значительно снизить количество выделяемых для хранения токсичных отходов земель, вовлечь отходы в комплексный производственный процесс, получить значительный экономический эффект.

Разработанный авторами способ комплексной переработки ОВК серноокислого производства [1] позволяет извлекать до 98% соединений ванадия из ОВК, с содержанием V_2O_5 в готовом продукте до 87%. Перспективным является использование выделенных ванадийсодержащих соединений в качестве пигментов. В литературе [2,3] имеются сведения о возможности применения ванадийсодержащих пигментов в строительной промышленности, в лакокрасочной промышленности в качестве замены высокотоксичным пигментам на основе соединений свинца и хрома, а также перспективности их применения в полиграфической промышленности и при производстве окрашенных пластмасс.

Целью данной работы является получение и исследование физико-химических и колористических свойств пигментов на основе продуктов промышленной переработки ванадийсодержащих отходов.

Синтез пигментов осуществлялся осаждением из водных растворов, содержащих ионы Ca^{2+} , Bi^{3+} , Fe^{3+} и VO_4^{3+} в необходимых стехиометрических соотношениях. Для перевода в ионизированную форму V_2O_5 , предварительно выделенный при переработке ванадийсодержащих промышленных отходов, растворяли в избытке 30% раствора NaOH.

В результате химического взаимодействия в растворе в этом диапазоне pH образуется ортованадат натрия Na_3VO_4 .

После синтеза образцы прокаливали в течение 1 часа при температуре 550°C .

Морфология и элементный состав синтезированных продуктов изучались методом EDX на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV, оснащенный системой химического микрорентгеноспектрального анализа EDX JED-2201 с точностью до 0,5%.

Маслоемкость пигментов определялась по стандартным методикам в соответствии с ГОСТ 21119.8.

Определение цветовых характеристик покрытий на основе синтезированных пигментов, нанесенных на подложку из стали марки 8кп, проводилось в цветовой модели Lab с помощью спектрофотометра ColorDialog II в отраженном свете.

Элементный состав по данным EDX анализа и колористические характеристики полученных соединений представлены в таблице.

В ходе анализа полученных колористических характеристик установлено, что координаты цвета всех пигментов находятся в близком соответствии с цветами, применяемыми в настоящее время в полиграфии (каталог Pantone) и лакокрасочной промышленности (каталог RAL).

Таблица – Элементный состав и колористические характеристики полученных пигментов

Образец	Содержание элементов, масс. %				Координаты цвета			Номер цвета по каталогу	
	Bi	V	Fe	Ca	L	a	b	Pantone	RAL
1	67,44	17,03	–	–	76,08	7,58	79,01	7604C	1021
2	–	47,74	–	40,79	54,13	48,20	63,54	1595C	2004
3	42,13	23,75	20,81	–	57,19	29,78	70,01	145C	2000
4	66,22	22,05	9,04	–	37,96	21,09	17,21	4705C	8002
5	23,64	28,75	33,98	–	45,11	20,30	50,98	1395C	8001
6	–	29,93	55,01	–	21,05	18,22	20,31	4625C	8016

В результате синтеза ортованадата висмута получен мелкокристаллический пигмент ярко-желтого цвета с размером частиц от 0,1 до 10 мкм. Мольное соотношение Bi : V в полученном пигменте составляет 0,9, что, возможно, свидетельствует о наличии в нем незначительных количеств примесей оксида ванадия(V), мета- и поливанадатов висмута.

В результате синтеза ортованадата кальция получен мелкокристаллический пигмент желто-оранжевого цвета с размером частиц от 3 до 12 мкм.

При добавлении незначительных количеств раствора висмута и железа к раствору ортованадата натрия образуется коллоидный раствор

от светло-коричневого до темно-коричневого цвета в зависимости от мольного соотношения Vi к Fe . Установлено, что при увеличении содержания железа окраска образцов изменялась от желтого ViVO_4 до темно-коричневого FeVO_4 . После термообработки образец 3 представлял собой агрегаты до 20 мкм; 4 и 5 – мелкозернистые порошки с размером частиц до 2 мкм; 6 – мелкозернистый порошок с размером частиц до 5 мкм. Таким образом преобладающий размер частиц образцов 1–5 составляет до 10 мкм. Как правило, использование в лакокрасочной промышленности пигментов с такими малыми размерами частиц позволяет существенно улучшить показатели готовой продукции.

Маслоемкость полученных образцов сравнима с маслоемкостью высокоосновных хроматов цинка (30 г/100 г пигмента), что определяет относительно невысокую стоимость лакокрасочного материала на их основе.

Истинная плотность синтезированных образцов, установленная пикнометрическим методом, составляет 6,0–7,5 г/см³, что сравнимо с применяемыми в настоящее время пигментами на основе соединений хрома и свинца.

Таким образом, проведенные исследования позволили разработать экологически безопасную технологию получения пигментов на основе соединений ванадия используя в качестве одного из исходных компонентов продукты переработки промышленных отходов. В результате получены порошки различных цветов с размерно-морфологическими, колористическими и физико-химическими характеристиками, которые отвечают требованиям, предъявляемым к пигментам, применяемым в лакокрасочной и полиграфической промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ переработки отработанных ванадиевых катализаторов сернокислотного производства: пат. 17007 Республика Беларусь, МПК6 В 01J 23/92 / Крышилович Елена Владимировна, КурилоИрина Иосифовна, Орехова Светлана Ефимовна; заявитель: Белорусский государственный технологический университет. – заявл. 02–06–2011; опубл. 28–02–2013.

2. Опимах, О. В. Механизм структурообразования ортованадата висмута при сольвотермическом синтезе / О. В. Опимах, И. И. Курило, И. М. Жарский // Неорганические материалы. – Москва, 2014. – №4. – с. 1–5.

3. Дикерхофф А. Ванадаты висмута. Высокоэффективные желтые пигменты и их применение // Лакокрасочные материалы и их применение, 2009. – №7. – С. 16–17.

УДК 674.055:621.934(043.3)

В.В. Чаевский, доц., канд. физ.-мат. наук;
В.В. Жилинский, ст. преп., канд. хим. наук;
А.А. Гришкевич, доц., канд. техн. наук

(БГТУ, г. Минск),

А.К. Кулешов, зав. лаб., канд. физ.-мат. наук
(БГУ, г. Минск)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ И КИБ ОБРАБОТКИ ЛЕЗВИЙ НОЖЕЙ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В условиях высокопроизводительного резания инструмент должен обладать высокими эксплуатационными характеристиками и в полной мере обеспечивать возрастающие требования к точности и качеству обработки. Уровень показателей стойкости и надежности режущего инструмента определяется, в первую очередь, характеристиками физико-механических свойств инструментального материала. При резании древесностружечных плит (ДСтП) хвостовыми фрезами со стальными ножами высокие температуры, возникающие в поверхностных слоях лезвия ножей (700–800°C), приводят к уменьшению прочности металла, которое способствует размягчению и размазыванию тонких поверхностных слоев лезвия из стали [1]. Необходимо также учесть, что в Республике Беларусь для механической обработки древесных материалов применяется только инструмент с импортными дорогостоящими твердосплавными ножами. Поэтому решение задач, направленных на увеличение периода стойкости дереворежущего инструмента, используемого стальные ножи, и разработку новых материалов с высоким периодом стойкости, является актуальным, технически и экономически обоснованным.

Среди наиболее эффективных способов обработки поверхности лезвий ножей дереворежущих инструментов является метод конденсации вещества (например, тугоплавких металлов Ti, Mo, Zr и др.) из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ), существенно увеличивающий эксплуатационные свойства резцов [2]. Кроме того, в настоящее время в машиностроении широко используются гальванические покрытия сплавами железа. Полученные из сульфатных электролитов сплавы железо-никель достаточно износостойки.

В связи с этим целью работы являлось получение электрохимических покрытий сплавом Ni-Co, и комбинированным гальвано-ионно-плазменным методом ZrN-Ni-Co-покрытий на поверхности двухлезвийных стальных (Ст20) ножей хвостовых фрез и исследование износа обработанных лезвий ножей при резании ламинированных ДСтП с учетом фазового, элементного состава и микротвердости сформированных слоев.

Гальванические покрытия сплавом Ni-Co наносили на кафедре

химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники БГТУ на поверхность лезвий ножей из серноокислого электролита при токах 0,4–0,8 А и температуре 40–50° С. Толщина покрытий не превышала 10 мкм. ZrN-покрытия осаждались на ножи с Ni-Co-покрытием на установке ВУ-1Б «Булат» на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов (ДОСиИ) БГТУ в два этапа: с предварительной обработкой ионами циркония в вакууме 10^{-3} Па при потенциале подложки -1 кВ и последующим нанесением покрытий при токе горения дуги катода 100 А и опорном напряжении -100 В в атмосфере азота при давлении 10^{-1} Па. Температура при осаждении соответствовала 400–450°С. Толщина ZrN-покрытий не превышала 1,5 мкм.

Фазовый состав полученных покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра Ultima IV (Rigaku, Япония) в Cu-K α излучении. Микротвердость испытуемых покрытий определялась при помощи микротвердомера ПМТ-3 по методу Виккерса при нагрузке 50 г.

Лабораторные испытания на период стойкости лезвий ножей сборной фрезы диаметром 21 мм при резании ламинированных ДСтП толщиной 25 мм проводили на обрабатывающем центре ROVER-B4.35 (Италия) на кафедре ДОСиИ при следующих режимах: число ножей на фрезе – 2; частота вращения фрезы – 15000 мин $^{-1}$; припуск – 1,0 мм/проход; длина резания – 1200 м. п. Объемный износ лезвия ножа после испытаний рассчитывался по методике определения поперечных размеров кромки лезвия по всей ее длине с помощью микротвердомера ПМТ-3 с учетом первоначального неизношенного угла заточки лезвия.

Установлено, что сформированные покрытия состоят из отдельных фаз нитрида ZrN, имеющего гранецентрированную кубическую структуру, никеля и кобальта с гексагональной решеткой (рис. 1).

Среднее значение микротвердости ZrN-покрытия на стальной основе составило 32 ГПа, а Ni-Co-покрытия – 35 ГПа, что практически в 1,5 раза превышает величину микротвердости подложки (25 ГПа).

Выполненные расчеты усредненного объемного износа лезвия ножей после лабораторных испытаний, показали, что объемный износ комбинированного ZrN-Ni-Co-покрытия ($6,75 \cdot 10^7$ мкм 3) уменьшается в 3,4 раза по сравнению с упрочняющим лезвием Ni-Co-покрытием ($2,30 \cdot 10^8$ мкм 3).

Снимки изношенной кромки лезвия ножа с ZrN-Ni-Co- и Ni-Co-покрытиями (рис. 2) подтверждают расчеты объемного износа и показывают, что степень износа лезвия ножей с ZrN-Ni-Co-покрытием (рис. 2а) значительно меньше, чем в случае лезвия ножей с Ni-Co-покрытием (рис. 2б).

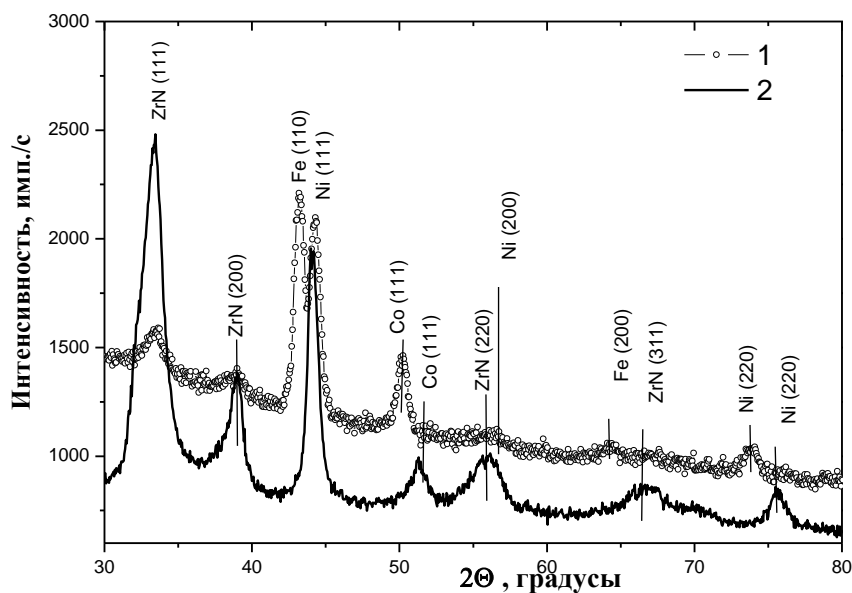


Рисунок 1 - Рентгенограммы Ni-Co-покрытий (1) и ZrN-Ni-Co-покрытий (2)

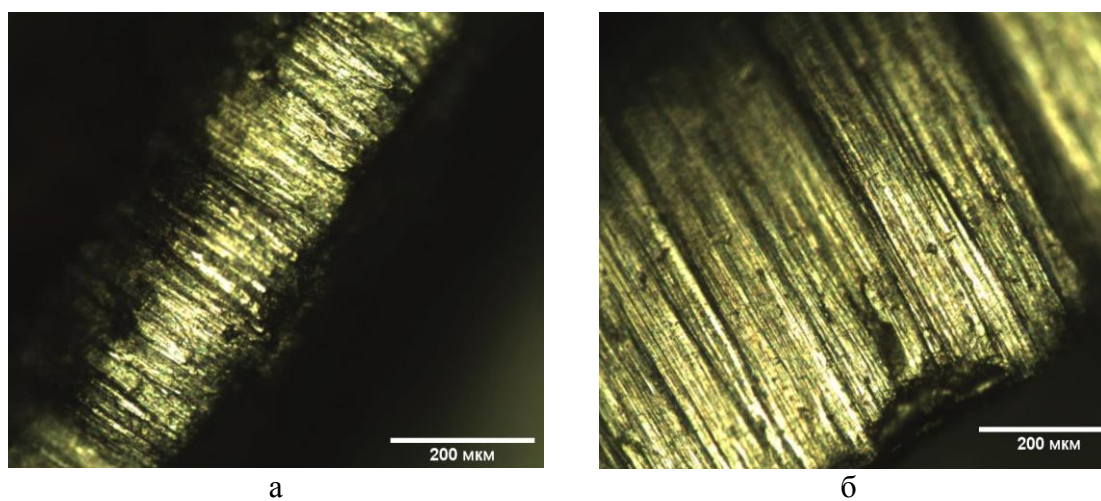


Рисунок 2 - Снимки изношенного лезвия ножа с ZrN-Ni-Co-покрытием (а) и с Ni-Co-покрытием (б) после резания ламинированной ДСтП

ЛИТЕРАТУРА

1. Эффективность применения ZrN-покрытий на стальных ножах при резании древесины на фрезерно-брусующих станках / А.В. Белый [и др.] // Леса России и хозяйство в них. Екатеринбург, 2013, Вып. 4 (47), С. 25–28.

2. Влияние ZrN, Mo-N покрытий, сульфатирования на износ ножей дереворежущего инструмента / А.К. Кулешов [и др.] // Трение и износ. Гомель, 2014, т.35, № 3, С. 276–286.

УДК 544.654

В.В. Яскельчик, Е.В. Михедова, И.М. Жарский, А.А. Черник
(БГТУ, г. Минск)

РЕСУРСО– И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ МЕДНЫХ ПОКРЫТИЙ С ВКЛЮЧЕНИЕМ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ АЛМАЗОВ

Медные покрытия находят широкое распространение в машиностроении в качестве защиты отдельных участков стальных деталей при цементации, азотирования, борирования, придания поверхности определенного внешнего вида, обеспечения адгезии, прочности сцепления фрикционных композиций со стальной основой [1,2].

Благодаря своим вязкостным свойствам, обладает еще одним полезным свойством – медное покрытие предотвращает искрообразование, что позволяет широко использовать инструмент с медным покрытием, например, в нефтедобывающей отрасли. Помимо всего прочего, процесс меднения идеально подходит для восстановления изношенного металлического покрытия на различных металлических деталях, а благодаря малому сопротивлению данное покрытие применяется также для улучшения токопроводности контактных электрических проводов [3].

Покрытия на основе меди обладают низкой микротвердостью, износостойкостью, высокой пористостью, однако введение в покрытие инертных добавок, таких, как ультрадисперсных алмазов (УДА) позволяет существенно улучшить эти свойства. Медное покрытие является катодным по отношению к стали и многим другим металлам, обеспечивают только механическую защиту их от коррозии. Поэтому одной из основных проблем при осаждении медных покрытий на стальную основу является обеспечение адгезии. Покрытия на основе меди обладают низкой микротвердостью, износостойкостью, высокой пористостью. Известно, что введение в покрытие инертных добавок, таких, как ультрадисперсных алмазов (УДА) позволяет существенно улучшить эти свойства [4].

Большое распространение для меднения стальных и чугунных изделий получили этилендиаминовые электролиты. Однако они являются экологически опасными. Эксплуатация таких электролитов требует мер предосторожности, а также возникают проблемы с утилизацией промывных вод и отработанных электролитов. Покрытия полученные из этилендиаминового электролита обладают высокой пористостью и поэтому для достижения требуемых защитных свойств необходимо наносить покрытия большой толщины: около 9 мкм.

В связи с этим актуальным является проведение исследований по выбору экологически безопасных электролитов для процессов скоростного электрохимического нанесения меди на рабочую поверхность стальных и чугунных деталей.

Поляризационные измерения проводили на потенциостате IPC-Pro M в стандартной трехэлектродной ячейке ЯСЭ-2. В качестве материала электродов для поляризационных измерений использовали: сталь марки сталь 3. В качестве вспомогательного электрода использовали медную пластину марки М0. Измерение микротвердости проводились на микротвердомерах ПМТЗ и AFFI-MVDM8, износостойкость определялась на истирающей машине, микрофотографии образцов были получены на растровом электронном микроскопе (РЭМ) JEOL JSM-35CF.

Исследования проводимые из цитратного электролита меднения показали, что данный электролит обладает необходимыми эксплуатационными свойствами и главными достоинствами является отсутствие контактного вытеснения на стальной и чугунной поверхностях, хорошая адгезия и отсутствие пористости при толщине 6 мкм и более. Использование данного электролита позволит увеличить срок службы медных покрытий при уменьшенной толщине покрытия.

На рисунке 1 представлены микрофотографии медных покрытий, полученных из этилендиаминового (а) и цитратного(б) электролитов.

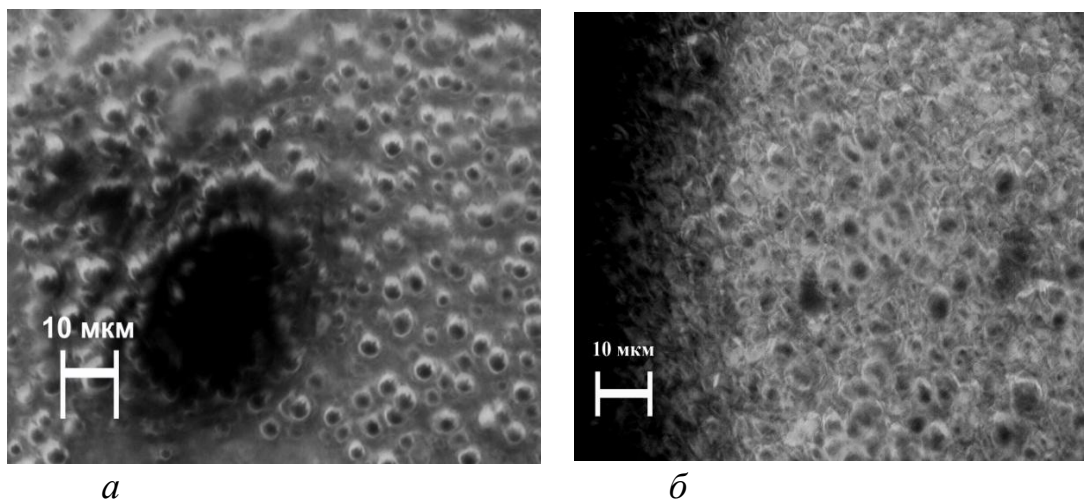


Рисунок 1 – Микрофотографии медного покрытия при увеличении 1000х

С целью повышения эксплуатационных характеристик в данный электролит вводили УДА с различной концентрацией.

Как следует из рисунка 2, что при увеличении концентрации УДА в цитратном электролите меднения до 1 г/л пористость снижает-

ся. Высокая пористость достигается при концентрации 1,5 г/л, что может быть связано с адсорбционными процессами. При концентрации УДА 2 г/л так же наблюдается значительное уменьшение пористости полученного медного покрытия.

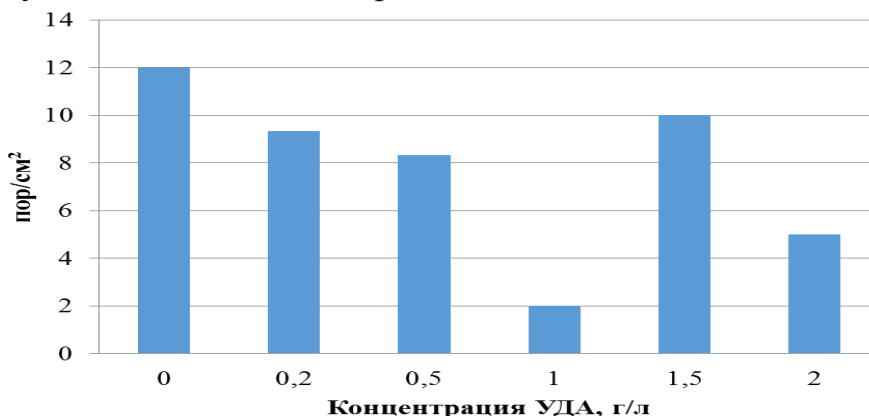


Рисунок 2 – пористость покрытий полученных из цитратного электролита с добавлением УДА

На рисунке 3 представлены поперечные шлифы медных покрытий полученных в присутствии и без УДА. Как следует из рисунка 3 медное наблюдается зазор между покрытием и основой и покрытием без УДА, что обуславливает недостаточную адгезию. Кроме того, характер поверхности представляется неравномерным, но сквозная пористость отсутствует.

Добавление УДА приводит к существенному сужению зазора и его исчезновению при повышении концентрации УДА. Это свидетельствует об улучшении сцепления покрытия с основой. Кроме того, наблюдается положительное выравнивание поверхности по толщине при введении УДА в электролит.

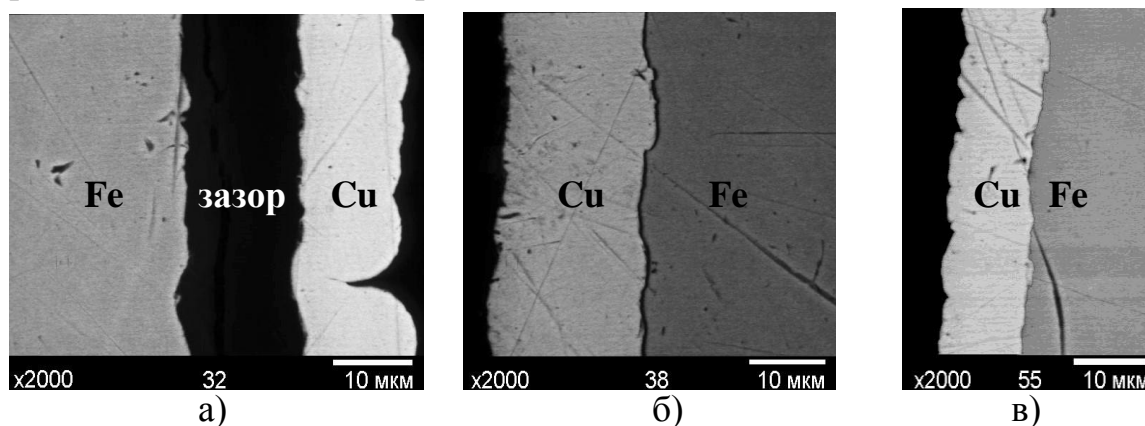


Рисунок 3 – поперечный шлиф медного покрытия (а) и покрытия медь-УДА (б, в). Концентрация УДА в электролите б) – 1 г/л, в) – 1,5 г/л.

Таким образом при использовании цитратного электролита меднения с добавкой УДА способствует повышению коррозионной стойкости, адгезионной прочности и снижению толщины покрытия до 3 мкм с сохранением или даже увеличением ресурса работы данного покрытия в естественных условиях эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беленький, М. А. Электроосаждение металлических покрытий: Справочник / М. А. Беленький, А. Ф. Иванов. – М.: Металлургия, 1985. – 288 с.
2. Вайнер, Я. В. Технология электрохимических покрытий / Я. В. Вайнер. – Л.: Машиностроение, 1972. – 460 с.
3. Кудрявцев, В.И. Электролитические покрытия металлами: учеб. пособие / В. И. Кудрявцев. – Москва: Химия, 1979–398с.
4. Буркат, Г. К. Ультрадисперсные алмазы в гальванотехнике / Г. К. Буркат, В. Ю. Долматов. – СПб.: Специальное конструкторско-технологическое бюро "Технолог" Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета).

УДК 542.128.13

Мазько А. С., студ., Алисиенок О. А., асс.,
Мурашкевич А. Н., проф., д-р техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ФОТОКАТАЛИЗАТОР ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ

В настоящее время остро стоит проблема разработки методов эффективной очистки стоков текстильных предприятий (ОАО «Свитанок» г. Жодино, ОАО «Бобруйсктрикотаж» и др.), образующихся в технологическом процессе, от окрашенных веществ. По существующим технологиям утилизация стоков не предусмотрена, перед сбросом стоки различной концентрации смешивают и подвергают многократному разбавлению.

Применяемые в настоящее время технологии очистки: сорбционные (сорбция на угле и других сорбентах), разделительные (мембранные технологии и продувка воздухом) и деструктивные (озонирование и хлорирование, биохимические методы), имеют очевидные недостатки. Так при применении сорбционных технологий происходит накопление нежелательных примесей на поверхности сорбента. В этом случае сорбент требует дополнительной утилизации или регенерации. При применении разделительных технологий, например, мембранных происходит накопление примесей на какой-либо фильтрующей по-

верхности, а затем сброс их обратно в воду. При продувке же воздухом нежелательные примеси могут попадать в атмосферу. В любом случае проблема очистки сточных вод не решается полностью.

Фотокаталитический метод относится к деструктивным способам очистки, но не требует специального введения окислителей: окисление происходит за счет взаимодействия растворенного в воде кислорода воздуха со свободными носителями, в результате чего образуются свободные радикалы, которые в свою очередь окисляют краситель. В отличие от используемых деструктивных методов очистки воды с применением сильных и нежелательных для выброса в окружающую среду окислителей типа хлора и озона, фотокаталитический метод является более безопасным. При этом фотокатализатор должен быть активным при облучении светом ближнего УФ- или видимого диапазона; нетоксичным, доступным по цене с возможностью повторного использования.

Целью настоящей работы являлось получение композитов на основе нанодисперсных оксидов титана, кремния, алюминия и исследование их фотокаталитической активности в процессе разложения Родамина *FL-ВМ*, используемого предприятиями Республики Беларусь. Композиты в системе $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ получали золь-гель методом, в системе $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ – путем ориентированного формирования оболочки нанодисперсного диоксида титана на поверхности ядра диоксида кремния по механизму гетероадагуляции [1, 2].

Эксперименты по фотокаталитическому разложению проводили в установке, состоящей из источника УФ излучения с отражателем при перемешивании раствора. Концентрацию красителя определяли по величине оптической плотности раствора, измеренной на спектрофотометре КФК-3 при $\lambda = 566$ нм. С целью расширения диапазона спектра иницирующего излучения проводили сравнительные исследования с использованием естественного освещения.

Первоначально в качестве фотокатализатора исследовали диоксид титана, модифицированный оксидами трехвалентных металлов. Модифицирующий компонент вводили в золь диоксида титана, что при последующей прокалке предполагает возможность реализации гетеровалентного замещения ионов титана трехвалентными ионами металлов с образованием пар свободных носителей.

Как видно на рисунке 1, наибольшей каталитической активностью в исследованном ряду обладает TiO_2 , модифицированный Al_2O_3 .

В целях повышения фотокаталитической активности в настоящее время активно используют материалы, содержащие несколько компонентов. Это позволяет комбинировать их полезные свойства. Так, на-

пример, композит «ядро SiO_2 – оболочка TiO_2 » наряду с более развитой удельной поверхностью фотокаталитически активного компонента в силу некоторой проницаемости оболочки может активно участвовать в процессах сорбции разлагаемого компонента за счет высокой дисперсности ядра.

Результаты, приведенные на рисунке 2, свидетельствуют о том, что композиты «ядро SiO_2 – оболочка TiO_2 » проявляют наиболее высокую фотокаталитическую активность после прогрева при температурах 700–800°C. Это связано с сохранением достаточно развитой удельной поверхности при формировании кристаллической фазы анатаза.

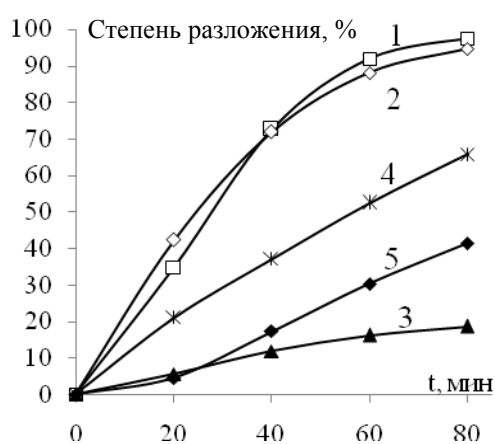


Рисунок 1 – Зависимость степени разложения Родамина от времени обработки УФ излучением для образцов диоксида титана с различными добавками (температура обработки фотокатализатора 700°C): 1 – Al_2O_3 , 2 – P_2O_5 ; 3 – Ce_2O_3 ; 4 – Nd_2O_3 (600°C); 5 – « TiO_2 без модификатора»

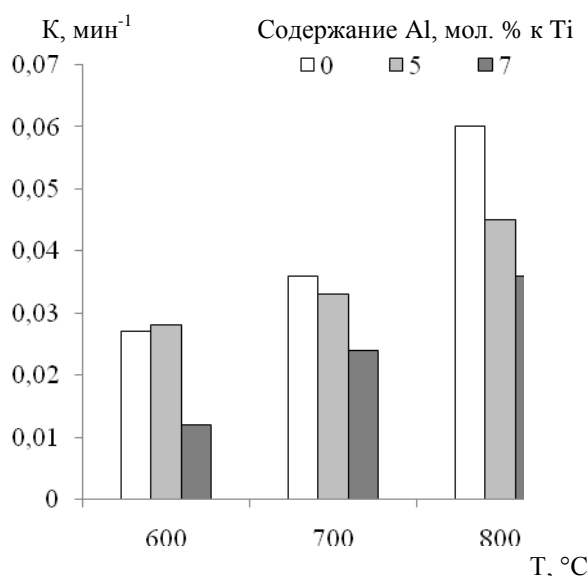


Рисунок 2 – Зависимость константы разложения Родамина от времени для образцов «ядро SiO_2 – оболочка TiO_2 », содержащих разное количество Al_2O_3 (УФ-излучение)

Однако введение модифицирующего компонента (Al_2O_3) в золь диоксида титана перед синтезом не приводит к увеличению скорости разложения красителя, как это наблюдалось в случае диоксида титана, модифицированного оксидом алюминия, что может быть связано с двумя обстоятельствами: взаимодействием оксида алюминия при термообработке не только с диоксидом титана, но и с диоксидом кремния; существенным влиянием оксида алюминия на процесс кристаллизации диоксида титана.

Актуальной задачей улучшения фотокаталитических процессов является расширение диапазона используемого иницирующего излучения в сторону видимого диапазона с целью возможности использования естественного солнечного света. Для этого были приготовлены

растворы красителя Родамина *FL–BM*, содержащие фотокатализаторы, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Образцы композитов и результаты фотокаталитического разложения красителя Родамина *FL–BM* под действием солнечного света

№ п/п	Природа фотокатализатора	Модификатор	Концентрация Al, мол. % к Ti	Температура обработки, °С	Константа скорости разложения, мин ⁻¹	Удельная поверхность, м ² /г
1	ядро SiO ₂ – оболочка TiO ₂	-	-	800	0,0005	218
2	ядро SiO ₂ – оболочка TiO ₂	Al ₂ O ₃	5	800	0,0003	223
3	TiO ₂	Al ₂ O ₃	3	700	0,0002	26
4	TiO ₂	Al ₂ O ₃ (ПЭГ)	7	700	0,0002	-
5	TiO ₂	Al ₂ O ₃ (ДДА)	7	700	0,0003	-

Сравнение констант скорости разложения, приведенных в таблице 1 и на рисунке 2, свидетельствует о том, что разложение красителя происходит и при освещении солнечным светом, однако скорость этого процесса в данном случае на два порядка ниже по сравнению с УФ-облучением.

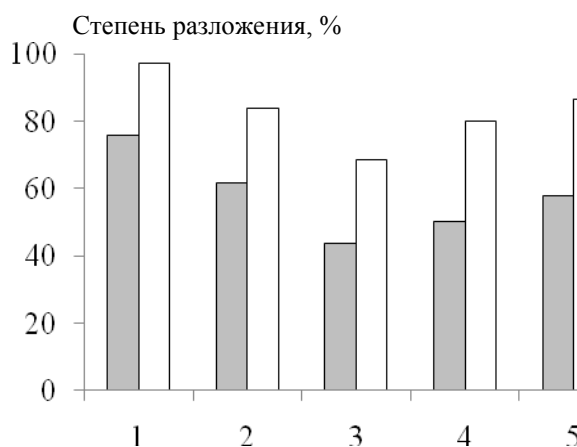


Рисунок 3 – Зависимость степени разложения Родамина от времени при воздействии солнечного света (№№ образцов соответствуют таблице 1)

Как видно на рисунке 3, наибольшую фотокаталитическую активность проявил образец №1: «ядро SiO₂ – оболочка TiO₂», прокаленный при 800°С в течение 1ч, в присутствии которого степень разложения красителя составила 97% за 120 ч.

Таким образом, можно отметить, что нанодисперсные композиционные материалы на основе оксидов титана, кремния, алюминия обладают сравнительно высокой фотокаталитической активностью в процессе разложения красителя Родамина *FL–BM*, как при освещении

излучением УФ диапазона, так и видимым светом. Оптимизацию состава и технологии получения фотокатализаторов можно продолжить по количеству модифицирующих компонентов и температурно-временному режиму обработки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мурашкевич, А. Н. Физико-химические и электрореологические свойства диоксида титана, модифицированного оксидами металлов / А. Н. Мурашкевич [и др.]. Колл. ж. 2014. Т.76, №4, с. 1–7.

2. Мурашкевич, А. Н. Физико-химические и фотокаталитические свойства наноразмерного диоксида титана, осажденного на микросферах диоксида кремния / А. Н. Мурашкевич, О. А. Алисиенок, И. М. Жарский. Кин. кат. 2011. Т. 52, №6, с. 830–837.

УДК 621.791.13; 621.7.044.4

К.К.Ким, проф., д-р техн. наук
В.А.Федотов, студент гр.ЭС-004
А.А.Степанов, студент гр.ЭС-004
ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург

ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ

Обстановка жесткой мировой конкуренции, в которой сегодня находится железнодорожная отрасль, требует новых решений, основанных на техническом анализе последних достижений науки, отвечающих современным требованиям и нацеленных на выполнение стратегической линии управления качеством ОАО «РЖД», безопасность движения поездов, соблюдение техники безопасности работников железнодорожного транспорта, экономию финансовых, топливно-энергетических ресурсов, повышение производительности, соблюдение требований санитарно-гигиенических нормативов, сохранение экологии окружающей среды и т.п.

Сварка является одним из ведущих технологических процессов современной промышленности, от степени развития и совершенствования которого во многом зависит уровень технологии в железнодорожном транспорте, машиностроении, строительстве и ряде других отраслей.

Можно утверждать, что традиционные виды сварки, осуществляющиеся при высоких температурах нагрева соединяемых деталей, а, следовательно, сопровождающиеся остаточными механическими напряжениями, к настоящему времени морально устарели.

С точки зрения охраны окружающей среды, традиционные виды сварки сопровождаются выбросом вредных и опасных газов, выде-

ляющихся из свариваемых металлов при их контакте с электрической дугой, а также из самих электродов. Наиболее вредными веществами, входящими в состав покрытия и металла электрода, являются хром, марганец и фтористые соединения. Воздух в рабочей зоне сварщика также загрязняется различными вредными газами: окислами азота, углерода, фтористым водородом и др.

Один из выходов из сложившейся ситуации заключается в использовании сварки взрывом.

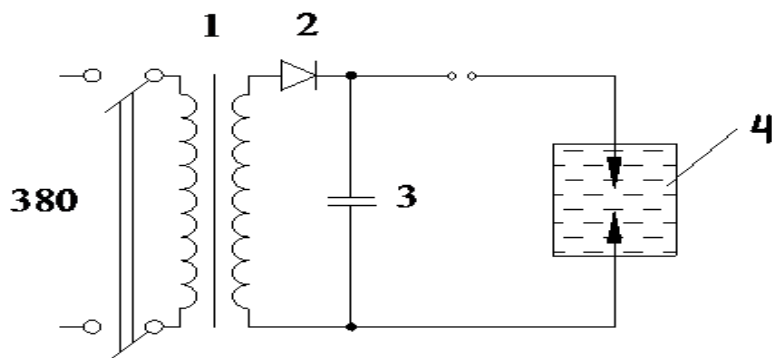
Проведенный анализ импульсных способов сварки показал, что электрический взрыв проводника с последующим высоковольтным разрядом в воде является наиболее целесообразным источником давления для сварки металлов высокоскоростным ударом.

Преимущества сварки взрывом:

- Высокий КПД преобразования энергии
- Отсутствие остаточного механического напряжения
- Безопасность по сравнению со сваркой при использовании взрывчатых веществ
- Возможность точного регулирования параметров процесса сварки
- Отсутствие выброса опасных газов

Электрогидроимпульсный эффект (ЭГЭ) – хорошо известный промышленный способ прямого преобразования электрической энергии в механическую, характеризующийся высоким КПД. В ЭГЭ используются ударные волны и гидродинамические течения, возникающие при высоковольтном импульсном разряде в ионопроводящей жидкости. Разряд создается с помощью накопителя, в большинстве случаев емкостного (рис. 1). ЭГЭ получить можно относительно просто. Через повышающий трансформатор и высоковольтный выпрямитель в емкостном накопителе (конденсаторной батарее) накапливается электрическая энергия. Специальным коммутирующим устройством (управляемым разрядником) накопитель замыкается на нагрузку – систему электродов в ионопроводящей жидкости, между которыми выделяется накопленная энергия за короткий промежуток времени (10—100 мкс). Под действием высокого напряжения (5—70 кВ) и в результате ионизации неоднородной жидкости возникает канал проводимости, по которому протекает импульсный ток (10—250 кА), расширяя ионизированный канал. Температура в канале разряда достигает десятков тысяч градусов $(1,4 — 4,0) \times 10^4$ К. Стремительное расширение плазменного канала вызывает в жидкости ударные волны, достигающие у его поверхности величины $(10—14) \times 10^8$ Па. Разряд сопровождается световым излучением, возникновением импульсного

магнитного поля, пульсацией и гидродинамическими течениями. По существу и по характеру проявления — это электрический взрыв.



1 — повышающий трансформатор; 2 — выпрямительная установка; 3 — батарея конденсаторов; 4 — одноразовый патрон с электродами, помещенными в жидкости.

Рисунок 1 - Принципиальные схемы получения ЭГЭ

Образование сварного шва в процессе ЭГ происходит под действием импульса давления, возникающего при взрыве проволочки патрона разового действия. Инициирование разряда взрывной проволочкой позволяет свести к минимуму потери энергии в период формирования пробоя и повысить его эффективность в 1,5—2 раза.

Эффективность энерговыведения при этом обуславливается множеством факторов: параметрами разрядного контура (напряжение зарядки U_0 и емкость накопителя C , индуктивность разрядного контура L ; параметрами ВП (диаметр d_w , длина l_w , материал, форма); параметрами передающей среды (плотность, скорость распространения звука, химический состав); конструктивным исполнением патрона и др.

Взрывающаяся проволочка патрона является также регулятором выделяемой в патроне энергии. Электрический взрыв проволочки начинается с быстрого ее нагрева достаточно мощным импульсом тока до температур плавления, кипения и, наконец, перегрева. Истинный взрыв начинается с момента перехода жидкой фазы в паробразную.

Выбирая материал проволочки, следует руководствоваться соображениями технологического порядка: площадью сварки; прочностью и обрабатываемостью проволочки; степенью токсичности паров при взрыве, а также дефицитностью материала проволочки.

Стремление исключить загрязнение свариваемых деталей и обеспечить высокую эффективность передачи энергии к свариваемой детали привело к использованию в патронах воды. Эксперименты подтвердили правильность выбора воды в качестве передающей среды.

Выводы. Использование электрогидоимпульсного эффекта для сварки металлов позволяет получить высококачественные сварные швы, отличающиеся коррозионной стойкостью и отсутствием остаточного механического напряжения. Благодаря возможности точного регулирования основных параметров сварки путем изменения начальных электрических параметров установки достигается меньший брак сварных изделий вследствие отсутствия избыточных усилий.

С экологической точки зрения, сварка, осуществляемая направленным электрическим взрывом, не является источником выбросов вредных газов в атмосферу. Кроме того, электрогидроимпульсный эффект не сопровождается появлением искр, брызг расплавленного металла и инфракрасного излучения, оказывающего вредное влияние на органы зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение. 1986, 253с.
2. Физические основы электрогидравлической обработки материалов. Под ред. Г.А. Гулого. Киев: Наукова думка. 1978, 177с.
3. Борович Б.Л., Розанов В.Б. Автомодельная теория мощных импульсных разрядов в плотных газах М: АН СССР. Ордена Ленина Физический институт имени П.Н. Лебедева. 1970, 19с.
4. Синкевич О.А., Шевченко А.Л. Динамика электрического разряда в жидкости. Препринт ИВТАН № 2-094 – М.: 1982, 24с.
5. Патент на полезную модель 82438. Ким К.К., Ильинский А.С. Устройство для сварки металлов. Опубл. 27.04.09. Б.И. 12

УДК 621.357:681.5

Н.В. Богомазова, доцент, канд. хим. наук;
В.В. Жилинский, ст. преп., канд. хим. наук;
А.А. Черник, доцент, канд. хим. наук; О.С. Волынец, магистрант;
В.С. Безбородов, проф., д-р. хим. наук;
И.М. Жарский, проф., канд. хим. наук;
(БГТУ, г. Минск)

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ОРИЕНТИРУЮЩИХ СТРУКТУР ДЛЯ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Прибор на основе жидкокристаллических (ЖК) материалов впервые появился в 70-х годах XX столетия, но только в последние годы качество изображения, формируемого этими устройствами, достигло уровня, позволяющего конкурировать им с экранами на основе электронно-лучевой трубки. Объемы производства и ассортимент электронных ЖК-устройств неуклонно растут и составляют, например, для ЖК-

телевизоров около 45 миллионов устройств в год. ЖК-приборы работают при относительно высоких плотностях тока в широком оптическом диапазоне, и следовательно требуют высоких темпов инжекции заряда для достижения удовлетворительного быстродействия, что определяется свойствами прозрачного электропроводящего покрытия, используемого в структуре соответствующего ЖК-устройства. Наилучшее сочетание электропроводности, оптического пропускания и технологичности обработки с помощью физико-химических методов травления демонстрирует пленка смешанного оксида системы $\text{In}_2\text{O}_3 - \text{SnO}_2$ с содержанием второго оксида около 10 % (пленка ИТО). В традиционной технологии производства ЖК-устройств формирование изображения происходит благодаря наличию в структуре прибора не только прозрачного проводящего покрытия с заданной топологией, но и дополнительного ориентирующего слоя, которые обеспечивают однородную четкость изображения. Следует отметить, что оксид индия является редким и дорогостоящим материалом, а объемы его использования с каждым днем существенно возрастают. При дальнейшем росте производства неизбежно возникает вопрос о замене дефицитного In_2O_3 [2].

В связи с этим в настоящее время ведется активный поиск альтернативных материалов, которые смогли бы заменить оксид индия-олова без ухудшения основных показателей по оптическому пропусканию и электропроводности. Для этих целей исследуются углеродные нанотрубки, графен, полупроводниковые оксиды, электропроводящие полимеры, серебряные нанопроволоки, медные, серебряные сетки, галогениды серебра и др. [3].

Одним из таких перспективных материалов является упорядоченная сетчатая наноразмерная структура на основе алюминия [4]. Данная структура формируется с использованием существующей промышленной технологии электрохимического анодирования алюминия, в результате которого происходит самоорганизованный рост структурно-упорядоченного пористого оксида алюминия, представляющего собой закономерно расположенные вертикальные поры, обрамленные шестигранными стенками оксида алюминия. Важным преимуществом такой технологии является возможность прецизионного управления параметрами формируемой пористой структуры, а именно диаметром пор и размерами оксидной ячейки[4].

В настоящей работе проводились исследования альтернативных методов формирования упорядоченной наноразмерной структуры на основе алюминия в качестве одновременно электропроводящего и ориентирующего покрытия.

Исходными образцами являлись стеклянные подложки с напыленным слоем алюминия толщиной 1 мкм. Исследования включали получение алюминиевых структур при анодировании алюминиевых пленок в растворе щавелевой кислоты концентрации от 0,3 до 1,7 моль/л при температуре от 20 °С до 60 °С и напряжении от 20 до 50 В.

Объектом дальнейших исследований являлось профилированное сегментное алюминиевое покрытие, образующееся после химического удаления пористого оксида, сформированного при анодировании алюминиевой пленки на стеклянной пластине. При этом достаточная поверхностная электропроводность металлической структуры обеспечивается благодаря хорошим проводящим свойствам алюминия. Уровень оптического пропускания такой наноструктуры связан с характером упорядочения островных алюминиевых элементов.

Особенности анодирования алюминиевых пленок изучались с помощью хроноамперометрии и кулонометрии. Полученные хроноамперограммы имели традиционный вид, предполагающий наличие двух токовых максимумов, связанных с активным окислением алюминия (1 пик) и интенсификацией процессов разрастания пор в анодном оксиде в условиях локального разогрева истонченного алюминиевого проводника на поверхности стеклянной подложки (2 пик). На рис. 1 представлена зависимость, отражающая влияние температуры электролита на количество электричества, пропущенное через образец, которое было рассчитано по площади, заключенной под соответствующими амперограммами.

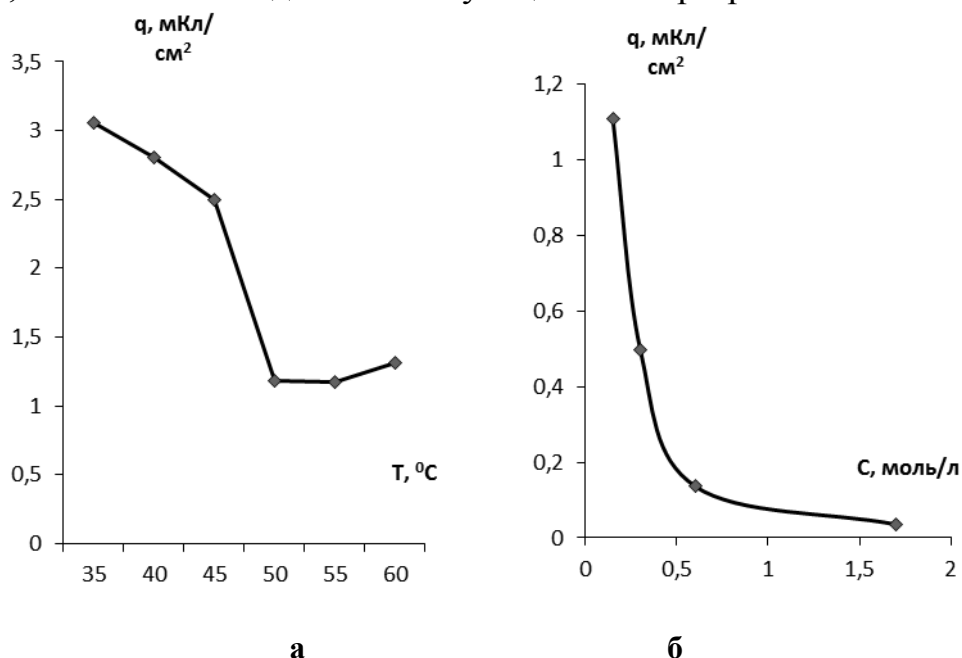


Рисунок 1 - Зависимость удельного количества электричества, потраченного на анодирование алюминиевого слоя, от температуры в 0,3 М щавелевой кислоты (а) и концентрации при 40 °С (б)

Количество электричества, затраченного на электрохимическое окисление алюминиевого слоя, уменьшается с увеличением температуры электролита и концентрации щавелевой кислоты, что наиболее вероятно связано с увеличением скорости химического растворения алюминия в порах оксида.

Данные изучения электрофизических свойств алюминиевых структур указывают на тенденцию роста их поверхностного сопротивления при увеличении температуры и концентрации электролита (рис 2).

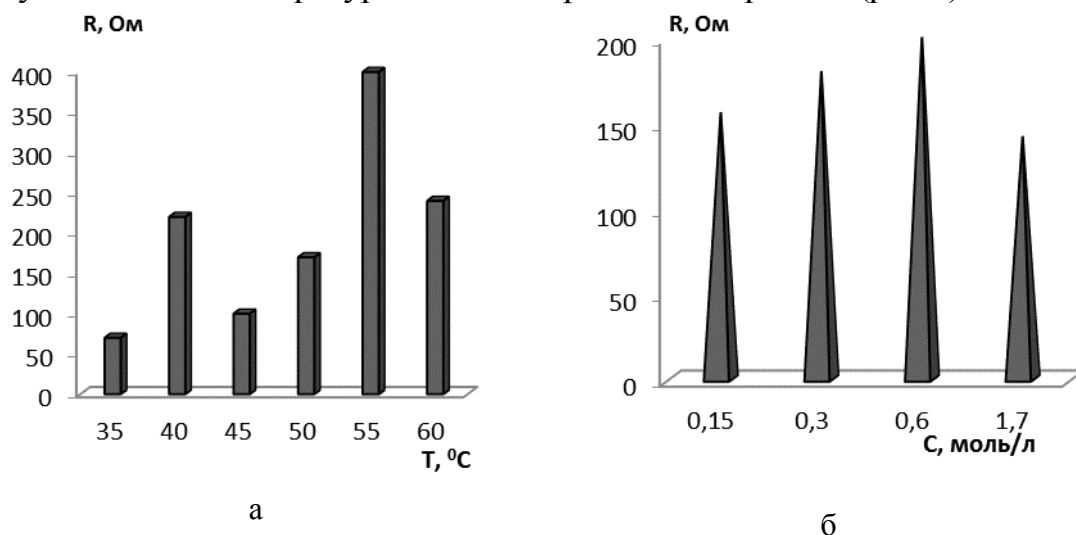


Рисунок 2 - Поверхностное электросопротивление алюминиевых структур, полученных при варьировании температуры (а) или концентрации (б) электролита анодирования

Наименьшие значения поверхностного сопротивления порядка 70 Ом получены при температуре 35 °С. Такая особенность, возможно, связана с активацией процесса растворения оксида при увеличении диаметра образующихся пор и с уменьшением толщины проводящих перемычек между островными сегментами упорядоченной алюминиевой структуры.

Таким образом, установлено, что формирование упорядоченной нооструктуры на основе алюминия для фольгированных подложек протекает при концентрации щавелевой кислоты в электролите 0,6 М и 1,7 М, температуре процесса 18 – 20 °С. Увеличение температуры ведет к ускорению процесса формирования пористого оксида алюминия, что может быть связано с интенсификацией процессов разрастания пор в анодном оксиде в условиях достаточно интенсивного локального разогрева истонченного алюминиевого проводника на поверхности стеклянной подложки.

Показано, что для получения низкоомных образцов пористого оксида алюминия наиболее благоприятны высокотемпературные режимы электрохимических процессов при концентрации щавелевой кислоты от 0,3 до 0,6 М. Экспериментальные результаты подтверждают тот факт, что

формирование упорядоченной наноструктуры на основе алюминия может рассматриваться как альтернативный, более простой и экономичный метод для ориентации жидких кристаллов на прозрачных электродах по сравнению с традиционными методами.

ЛИТЕРАТУРА

3. Hong, C. Liquid crystal alignment in nanoporous anodic aluminum oxide layer for LCD panel applications / C. Hong, T. Tang, W. Fang // Nanotechnology, 2010, N 10, P. 301-306.

4. Васильев, П.Я. Перспективы использования прозрачных проводящих покрытий с фуллеренами и нанотрубками для дисплейных элементов нового поколения / П. Я. Васильев, Н. В. Каманина // Письма в РЖХ, 2007, Т. 33, вып.18, С. 8-13.

5. Коншина, Е. А. Методы получения и свойства слоев на основе аморфного углерода, ориентирующих жидкие кристаллы / Е. А. Коншина // Оптический журнал, 2011, Т. 78, № 3, С. 72-83.

6. Smirnov, A. Self-organized nanostructured anodic oxides for display applications / A. Smirnov [et al] // Semiconductor Physics, Quantum Electronica and Optoelectronics, 2010, V. 13, N 3, P.305-308.

УДК 621.793.71

Jr. scientist, M.Sc. Raimonda Lukauskaitė, Prof., Dr. Algirdas Vaclovas Valiulis, Assoc. prof., Dr. Olegas Černašėjus, Assoc. prof., Dr. Nikolaj Višniakov,

Jr. scientist, Dr. Jelena Škamat

Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса

INVESTIGATION OF SURFACE PRETREATMENT METHODS OF ALUMINIUM ALLOYS FOR PLASMA SPRAYING ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Плазменное напыление, широко используемое в современной химической, нефтехимической и автомобильной промышленности, позволяет значительно уменьшить расход дорогих конструкционных материалов, повысить ресурс изделий и снизить расход энергии. Предварительная обработка поверхности образцов из алюминиевых сплавов перед напылением является одним из наиболее важных факторов, позволяющих достичь стабильного и прочного сцепления покрытия с подложкой. Целью этой предварительной обработки является удаление слоя нестабильного оксида или гидроксида алюминия и удаление масляных и жировых пленок с напыляемой по-

верхности. Слой оксида алюминия затрудняет формирование качественного контакта между напылённым покрытием и подложкой. В современной промышленности используются различные способы подготовки поверхности алюминия перед нанесением покрытия, которые, как правило, являются многоступенчатыми процедурами. Наиболее распространенными являются механическая абразивная обработка, обезжиривание в парах растворителя и химическое травление в щелочных и кислотных средах [1-4].

Целью данной работы является определение оптимального способа предварительной обработки алюминиевого сплава AW 5754 перед процессом напыления, а также исследование влияния различных способов подготовки поверхности подложки на топографию поверхности, величину шероховатости, значение поверхностной энергии и химический состав поверхностного слоя подложки после применения технологии очистки

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ. Образцы для исследований были изготовлены из 4 мм вальцованного листа алюминиевого сплава AW 5754. В качестве способов обработки поверхности алюминиевых образцов были использованы следующие технологии: обезжиривание с помощью изопропанола, механическая абразивная обработка частицами керамики (BF4F024), механическая абразивная обработка и химическое травление в 30 % растворе H_3PO_4 кислоты, механическая абразивная обработка и химическое травление в 10 % растворе NaOH с последующей нейтрализацией щелочи в 50 % растворе HNO_3 кислоты. После механической абразивной обработки все образцы очищались в потоке сжатого воздуха. После химического травления все образцы промывались дистиллированной водой и осушались в потоке теплого воздуха.

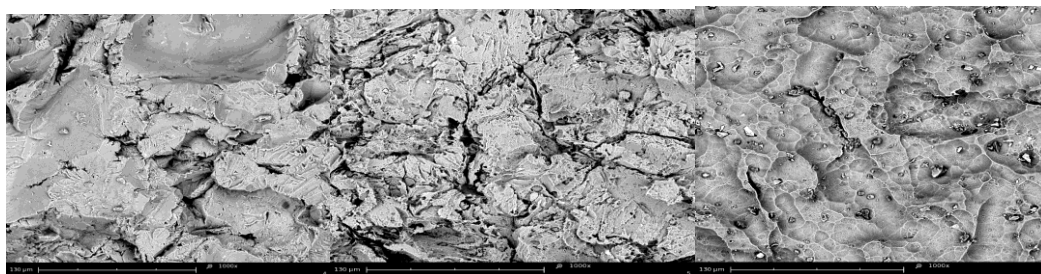
Микроструктура поверхности алюминиевых образцов после обработки разными способами изучалась с помощью сканирующего электронного микроскопа SEMSU 8000 с SE детектором вторичных электронов. Химический состав поверхности образца после обработки анализировался с помощью рентгеновского микроанализа.

Шероховатость подготовленной поверхности подложки измерялась тестером шероховатости TR200. Топография очищенной поверхности алюминиевых образцов анализировалась с помощью 3D оптического профилометра VEECONT9300.

Свободная энергия поверхности алюминиевых образцов после их обработки измерялась методом лежащей капли [5]. В качестве индикаторов для определения свободной энергии поверхности алюминиевых образцов были использованы пары реагентов: дистиллирован-

ная вода/формамид, дистиллированная вода/дийодметан и формамид/дийодметан. Выбранные реагенты имеют большую величину поверхностной энергии, разные значения её дисперсионной и полярной составляющих, нерастворяются в алюминиевых сплавах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. При анализе с помощью сканирующего электронного микроскопа поверхности очищенных образцов, было установлено, что морфология поверхности всех образцов различна (рис. 1). Вальцованная поверхность алюминиевого образца имеет ярко выраженную текстуру и многочисленные микротрещины перпендикулярно текстуре. Сравнение очищенных алюминиевых образцов показало, что при использовании комбинации механической абразивной обработки с химическим травлением морфология микроструктуры сильно изменяется по сравнению с образцом обработанным только механической абразивной обработкой (рис. 1, а). В случае использования химического травления в 30 % растворе H_3PO_4 микроструктура поверхности образца измельчается и появляется больше микрограней, что может указывать на большую контактную площадь поверхности (рис. 1, б). В случае использования химического травления в 10 % растворе NaOH с нейтрализацией в 50 % растворе HNO_3 микроструктура поверхности образца имеет ячеистый характер с закругленными микрогранями (рис. 1, с).

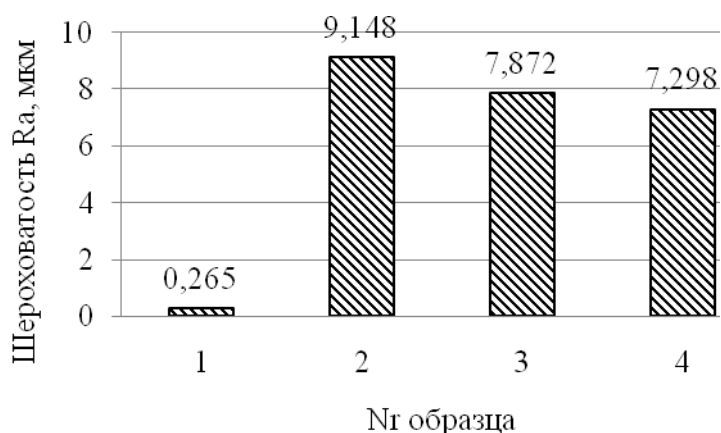


а) механическая абразивная обработка; б) механическая абразивная обработка с химическим травлением 30 % H_3PO_4 ; с) механическая абразивная обработка с химическим травлением 10 % NaOH с нейтрализацией 50 % HNO_3

Рисунок 1 – Микроструктура поверхности алюминиевых образцов

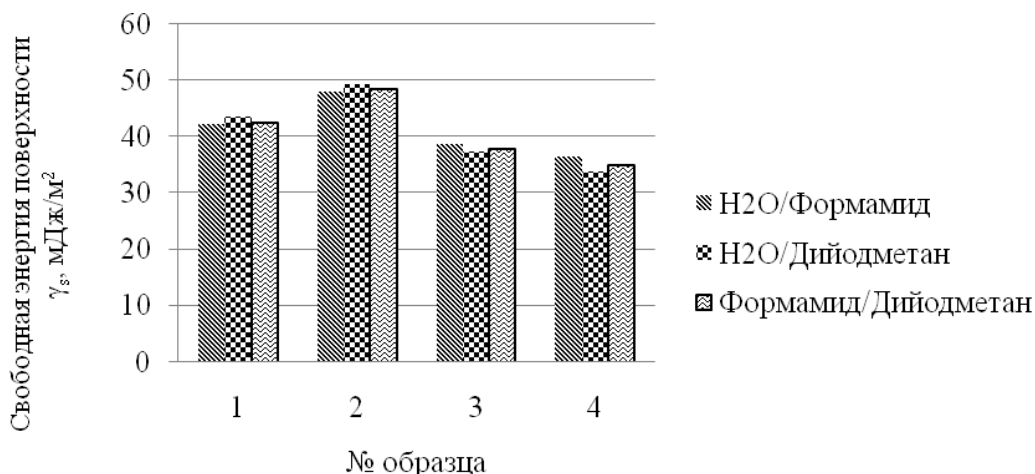
Рентгеновский микроанализ образцов позволил установить, что после обезжиривание изопропанолом весовая концентрация кислорода в поверхностном слое образца была 8,59 вес%, в то время как после механической абразивной обработки- 6,982 вес%, после механической абразивной обработки с последующим химическим травлением в 30 % растворе H_3PO_4 - 5,160 вес%, а после механической абразивной обработки с последующим химическим травлением в 10 % растворе NaOH - 2,300 вес%.

Исследования 3D топографии поверхности алюминиевых образцов и измерение шероховатости показало, что наибольшую шероховатость имеют алюминиевые образцы после механической абразивной обработки поверхности (рис. 2). Использование комбинации механической абразивной обработки с последующим химическим травлением уменьшает значение шероховатости поверхности подложки. Большая шероховатость поверхности подложки даёт лучшую адгезию покрытия. В тоже время реальная контактная площадь поверхности может быть большей и при меньшей шероховатости поверхности если микроструктура поверхности образца имеет большее количество микрограней.



- 1) обезжиривание изопропанолом; 2) механическая абразивная обработка;
- 3) механическая абразивная обработка с химическим травлением 30 % H_3PO_4 ;
- 4) механическая абразивная обработка с химическим травлением 10 % NaOH и с нейтрализацией 50 % HNO_3

Рисунок 2 - Шероховатость Ra поверхности алюминиевых образцов



- 1) обезжиривание изопропанолом; 2) механическая абразивная обработка;
- 3) механическая абразивная обработка с химическим травлением 30 % H_3PO_4 ;
- 4) механическая абразивная обработка с химическим травлением 10 % NaOH и с нейтрализацией 50 % HNO_3

Рисунок 3 - Свободная энергия поверхности алюминиевых образцов

Исследование поверхности очищенных образцов методом лежащей капли показал, что свободная энергия поверхности всех образцов отличается (рис. 3). Самую низкую свободную энергию поверхности имеет алюминиевый образец после механической абразивной обработки с химическим травлением в 10 % растворе NaOH, а самую высокую - после исключительно механической абразивной обработки.

ВЫВОДЫ

1. Исследуя поверхность обработанных образцов алюминиевого сплава AW 5754, было установлено, что различные методы обработки оказывают разное влияние на топографию поверхности и величину шероховатости.

2. Исследования показали, что травление в щелочи снижает весовую концентрацию кислорода на поверхности алюминиевых образцов примерно в 4,4 раза. Это косвенно указывает на уменьшение его толщины поверхностного оксидного слоя.

3. Самую высокую свободную энергию поверхности имеет алюминиевый образец после исключительно механической абразивной обработки. Более высокая свободная энергия поверхности подложки даёт лучшую смачиваемость жидкой капли на поверхности подложки, что в свою очередь позволяет получить более равномерную микроструктуру покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1 Moffitt, C.E., Wieliczka, D.M., Yasuda. H.K., AnXPSstudyoftheelementalenrichmentonaluminumalloysurfaces from chemical cleaning. *Surface and Coatings Technology* 137, 188-196 (2001).

2 Prolongo, S.G., Urena. A., Effect of surface pre-treatment on the adhesive strength of epoxy- aluminum joints. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 29, 23-31 (2009).

3 Joshi, S., Fahrenholtz, W. G., O'Keefe, M. J., Effect of alkaline cleaning and activation on aluminum alloy 7075-T6. *Applied Surface Science* 257, 1859-1863 (2011).

4 Rudawska, A., Jacniacka, E., Analysis for determining surface free energy uncertainty by the Owen- Wendt method. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 29, 451-457 (2009).

СЕКЦИЯ № 6
МЕТОДЫ, ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРОДУКЦИИ.
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ
И УПРАВЛЕНИЯ

Председатель – Карпович Дмитрий Семенович,
зав. кафедрой автоматизации производственных процессов и электро-
техники, канд. тех. наук

Секретарь – Лихавицкий Виталий Викторович,
ассистент кафедры автоматизации производственных процессов
и электротехники, канд. техн. наук

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБЖИГА В ШАХТНОЙ ПЕЧИ

Одним из направлений совершенствования металлургического производства Республики Беларусь является вовлечение местного минерального сырья для получения доломитовой извести.

При изучении состава и свойства обожженных доломитов отмечается, что режим термической обработки сырья оказывает большое влияние на свойства вяжущего [1-3]. При этом шахтные печи являются одними из самых распространенных. В них печной агрегат состоит из двух шахт круглого или квадратного сечения, соединенных между собой газоходом. Шахты работают в попеременном режиме. Загрузка шахт кусковым известняком производится сверху. В верхней части шахт расположены так называемые пиковые газовые горелки в количестве 10-15 шт., опущенные на глубину примерно 2,5 м. Дымовые газы от сжигания газообразного топлива проходят сверху вниз (к примеру) по левой шахте, обжигая известняк, а затем по соединительному газоходу поступают в правую шахту, также заполненную известняком, где отдают остатки своей теплоты свежезагруженному материалу, нагревая его, после чего удаляются с температурой чуть выше точки росы. Такой цикл длится 15 мин, после чего шахты меняются ролями. Обожженная известь удаляется из нижней части печи.

Двухшахтные печные агрегаты обладают рядом достоинств, а именно [4]:

- большой производительности, достигающей 450 т/сут;
- высокой теплотехнической экономичности (расход топлива в пересыпных печах составляет 12-14% от массы извести, или примерно 1400 ккал/кг);
- простоте и надежности конструкции;
- высокой концентрации CO_2 в дымовых газах, что позволяет в перспективе его утилизировать.

Однако следует указать недостатки, которые заключаются в более низком качестве получаемой извести из-за золы в пересыпных печах и неоднородного ее вещественного состава (неразложившаяся сердцевина крупных кусков известняка), а также неодинаковой реакционной способности извести поверхностных и глубинных слоев кусков обожженного известняка.

При этом не следует забывать об основном достоинстве такой печи – более полном использовании теплоты дымовых газов. Три та-

ких двухшахтных печных агрегата успешно эксплуатируются на Белорусском металлургическом заводе (г. Жлобин).

На данном предприятии участок обжига доломита состоит из суточного бункера (хранение доломита), конвейера, скипового подъёмника, шахтной печи (высота 40 м), включающей бункер подачи (колошник), 2 шахты (сжигающая и несжигающая), по 5 пиковых горелок на каждую камеру.

Из суточного бункера дробленый доломит фракции 60-80 мм, массой $W_{д1}=15-20$ кг, пластинчатым конвейером направляется на заполнение ковша скипового подъёмника. Загрузка шахтной печи осуществляется с помощью ковша и подъёмного устройства (лебедки) под углом 80° . Далее ковш поднимается на высоту печи и опрокидывается, заполняя доломитом колошник ($L_{к1}=90\%$). При этом подается сигнал на движение следующего ковша для последующего заполнения бункера.

При достижении минимального уровня шихты в печи ($L_{ш1}, L_{ш2}=25$ м) один из затворов бункера открывается и бункер опорожняется.

Шахты печи загружаются доломитом поочередно (каждые 15 минут) во время переключения, причем загрузке подлежит шахта, работающая в прямоходе. Доломит, попадая в печь, нагревается отходящими газами в зоне подогрева ($T_{зп1}=T_{зп2}=200^\circ\text{C}$) и высушивается.

После зажигания горелок доломит, попавший в зону обжига, нагревается до ($T_{зо1}=T_{зо2}=1100^\circ\text{C}$) и декарбонизируется. В качестве топлива для обжига доломита используется природный газ, который подается на вход пиковой горелки ($F_{пг1}=F_{пг2}$), где, смешиваясь с воздухом ($F_{вг1}=F_{вг2}$), нагнетаемым вентиляторами, образует пламя. При изменении температуры в зоне обжига ($T_{зо1}=T_{зо2}$), изменяется расход природного газа ($F_{пг1}=F_{пг2}$), а в зависимости от него изменяется расход воздуха ($F_{вг1}=F_{вг2}$). Такой способ подачи газа на горение обеспечивает равномерное его (и воздуха) распределение по сечению шахты и предотвращает пережог извести, поскольку в области горения топлива находится сравнительно холодный доломит. Для того, чтобы в зоне обжига, где температура наиболее высокая, не происходило спекание, известь постоянно выгружают через колосниковую решётку, находящуюся в нижней части шахты, т. е. проводят «шевеление».

При попадании извести в часть шахты ниже соединительного канала (зона охлаждения) она охлаждается холодным воздухом, подаваемым с помощью компрессора через разгрузочное устройство шахты, расход которого изменяется в зависимости от температуры в зоне охлаждения ($T_{зоx1}=T_{зоx2}$). После охлаждения ($T_{зоx1}=T_{зоx2}=80^\circ\text{C}$) известь

поступает в разгрузочный бункер и с помощью системы клапанов подаётся на валковую дробилку.

Продукты горения топлива и диссоциации карбонатов вместе с нагретым воздухом из прямоточной шахты по соединительному каналу поступают в противоточную шахту с температурой 800°C , где происходит нагрев доломита. Далее отходящие газы, под действием разрежения, создаваемого компрессором поступают в межтрубное пространство теплообменника (P_T, T_T), в котором поддерживается температура ($T_T=135-140^{\circ}\text{C}$) путем изменения расхода охлаждающей воды и давление ($P_T=3-4$ кПа) путем изменения расхода отходящих газов.

Таким образом, для системы автоматизации процесса обжига в шахтной печи были выбраны следующие переменные, подлежащие контролю и регулированию: масса дробленного доломита фракции 60-80 мм, уровень заполнения доломитом колошника, температура отходящих газов в зоне подогрева, температура в зоне обжига, расход природного газа и воздуха в пиковой горелке, температура в зоне охлаждения, температура и давление в теплообменнике.

Система регулирования процесса предусматривает ряд локальных систем: стабилизации температуры в зоне обжига путем изменения расхода топлива, стабилизации соотношения топливо-воздух, стабилизации температуры в зоне охлаждения путем изменения расхода холодного воздуха, стабилизации температуры и давления в теплообменнике путем изменения расхода охлаждающей воды и расхода отходящих газов, соответственно.

Разработанная система автоматического управления процессами обжига в шахтной печи позволяет стабилизировать температурные режимы процесса, что ведет к улучшению качества выпускаемой продукции и к снижению ее себестоимости на 1–2%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берг Л.Г., Казаринова М.Е. Кинетика реакции гидратации MgO в доломитах различной степени обжига. — Новосибирск: Известия ВУЗов, Строительство и архитектура №6, 1967. — С. 74-78.
2. Причкайтене Ю.К., Каминская А.Ю. Влияние некоторых карбонатных добавок и углекислого газа на процесс твердения магнезального вяжущего вещества. — Сборник трудов ВНИИтеплоизоляции, вып. 8, 1976. — с. 123-129.
3. Липсон Г., Стипл Г. Интерпритация порошковых рентгенограмм. — М.: Мир, 1972. — 384 с.
4. Кузьменков, М.И., Хотянович, О.Е. Химическая технология вяжущих веществ. — Мн. БГТУ. 2008 — 264 с.

В.Б. Михайлов, доц., канд. физ-мат. наук;
Д.С. Карпович, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

С.Д. Латушкина, канд. техн. наук
(ФТИ НАН РБ, г. Минск)

КОНТРОЛЬ АТМОСФЕРЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЫ ПРЕДПРИЯТИЙ СВЕРХЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ДАТЧИКАМИ

В приборах для измерения пороговых значений концентраций технологических газовых выбросов промышленных предприятий могут использоваться пленочные оксидно-полупроводниковые датчики, полученные с применением различных технологий.

Проблемой использования таких датчиков является то, что при росте измеряемой концентрации газов (таких как CO_2 , CO , NO , SO , HCl , NH_3 и др.) резко меняется проводимость поверхностного слоя SnO_2 или $\text{In}_2\text{O}_3+\text{Sn}$. В связи с этим, вынужденно используется пропорциональный дозатор исследуемого газа, что значительно удорожает систему контроля и требует определенной квалификации персонала. При резком росте концентрации контролируемых компонент газовой среды может наблюдаться резкое изменение сопротивления датчика и увеличение времени восстановления сопротивления при снятии воздействия. Кривые изменения относительного сопротивления датчиков при различных концентрациях кислородосодержащих компонент показаны на рис. 1.

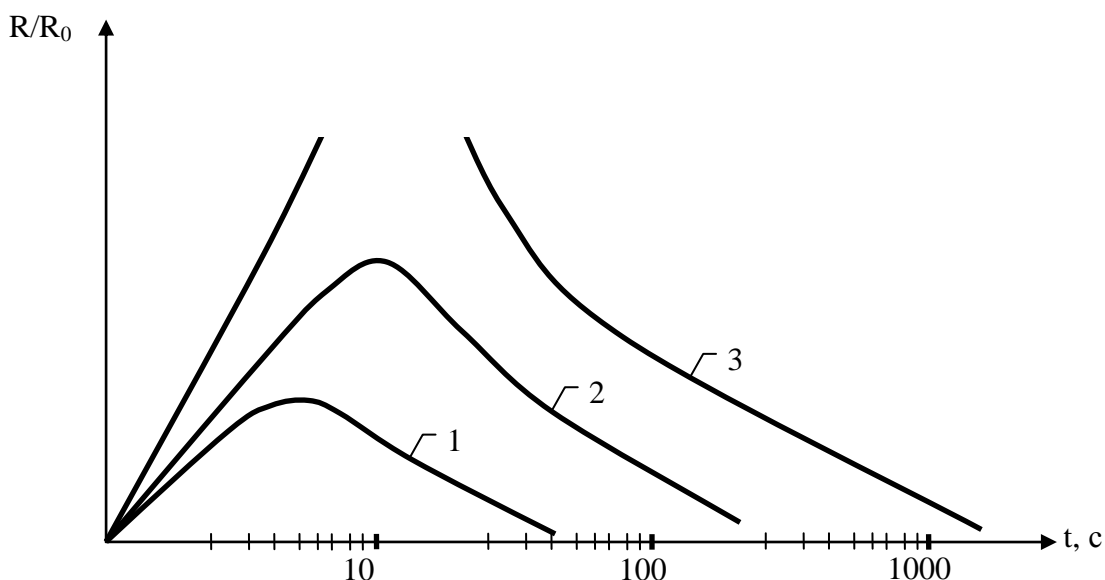


Рисунок 1. 1 – концентрация O_2 5÷10 ppm; 2 – 30÷40 ppm; 3 – свыше 500 ppm.

Описанные явления могут приводить к «отравлению» датчика и невозможности его использования в автоматизированных системах

контроля. Способом устранения этого недостатка является уменьшение температуры рабочего тела датчика, что снижает скорость роста сигнала датчика, но приводит к росту времени восстановления сопротивления (проводимости) датчика.

При напылении тонкопленочных датчиков на установке магнетронного распыления «Магна-100» осуществлялся «подпыл» наноразмерных островковых несплошных пленок Au, Pt, Pd, т.е. каталитических добавок, а при создании толстопленочных элементов в состав датчика были введены суспензии С-фуллеренов и С-нанотрубок в контролируемой концентрации. В обоих случаях скорости обратимых реакций при процессе сорбции– десорбции молекул окружающих газов возросли в 4÷5 раз. Это позволило уменьшить температуру датчика до 200÷300°C, при этом восстановление стабильного исходного состояния проводимости датчика оставалось таким же.

Возможность быстро менять температуру датчика и соответственно чувствительность, появилась при новой конфигурации нагревателя, сформированного как на ситалловых, так и на кремниевых подложках. Питание нагревателя осуществлялось от частотномодулированного источника постоянного тока. Временной ход температуры микронагревателя пленочного датчика в зависимости от частоты модулирующих импульсов показан на рисунке 2.

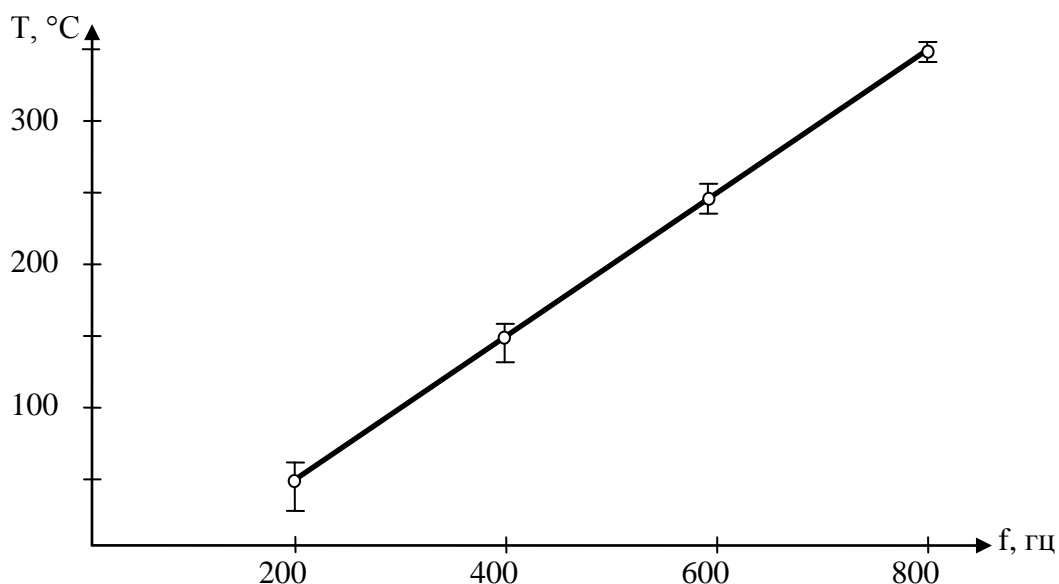


Рисунок 2

Таким образом, разработанные новые чувствительные элементы для анализа газовых сред имеют достаточную чувствительность (1÷5 ppm) и сравнительно малые времена нарастания (2÷3 с) и восстановления (до 10 с) сигнала [2].

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Для автоматизации систем нужно знать и при необходимости уметь определять (оценивать) динамические характеристики всех элементов системы вентиляции воздуха и помещения.

Поверхностные теплообменные аппараты являются основными элементами систем вентиляции. Процесс теплообмена в этих аппаратах отличается значительной распределенностью (неоднородностью) температур воздуха и воды. Температура изменяется вдоль трубки в пределах одного хода, между ходами и между рядами. Неравномерность температуры воздуха на выходе из воздухонагревателя может составлять десятки градусов и приближаться к половине перепада температур теплоносителя. Распределенность процесса существенно усложняет точный расчет и особенно аналитическое описание динамической характеристики аппарата.

Рассмотрим схему поверхностного теплообменного аппарата в сосредоточенных параметрах, т. е. относительно средних по тепловому балансу температур воздуха на входе и выходе из аппарата. В аппаратах возмущающими воздействиями являются температура воздуха на входе, расход воздуха (если аппарат работает при переменном расходе), температура воды на входе. Управляющими воздействиями могут быть расход воды или температура воды на входе. Регулируемым параметром для воздухонагревателя является температура воздуха, а для воздухоохладителя кроме температуры может потребоваться стабилизировать и влагосодержание.

В ряде задач требуется оценивать статические и динамические характеристики помещения как объекта стабилизации температуры. Математическое описание процесса осложнено рядом факторов: источники теплоты произвольным образом распределены в объеме помещения; места подачи воздуха тоже расположены произвольно; мощности источников и расходы воздуха в отдельных частях помещения не сбалансированы [1]. Вследствие этого температура воздуха как регулируемый параметр оказывается распределенной сложным образом в объеме помещения. Особенно значительная неравномерность наблюдается в той части, откуда поступает приточная неизотермическая струя. Источники теплоты в помещении лучисто-конвективные, при этом конвективная теплота поступает в воздух, а лучистая — на поверхность ограждений и оборудования. Плотность теплового потока на разных поверхностях неодинакова. Вместе с изменением температуры воздуха происходит изменение температуры

ограждений и оборудования, зависящее от размеров и теплофизических характеристик материалов, периода колебаний температуры (в периодическом процессе) [2]. Оборудование может иметь достаточно сложную форму и представление его простейшим телом может привести к существенной погрешности. Описание конвективного теплообмена осложнено тем, что его интенсивность, оцениваемая коэффициентом теплообмена переменная и может быть определена только приближенно, так как зависит от разных факторов.

Помещение будем рассматривать как объект в сосредоточенных параметрах, поэтому тепловой баланс составлялся относительно температуры уходящего воздуха. Основные ограждения рассматриваются как пластины, в которых тепловой поток в продольном направлении отсутствует.

В ходе исследования была смоделирована работа приточной вентиляционной системы (рисунок 1) с допущениями описанными выше. Рассматривалось пустое помещение объемом около 8500 м^3 , без внутренних источников тепла (оборудования, людей и т.д.). Расчетной производительностью $36000 \text{ м}^3/\text{ч}$. С начального момента времени происходит прогрев водяного калорифера, а только через 150 секунд включается вентилятор и открывается воздушная заслонка.

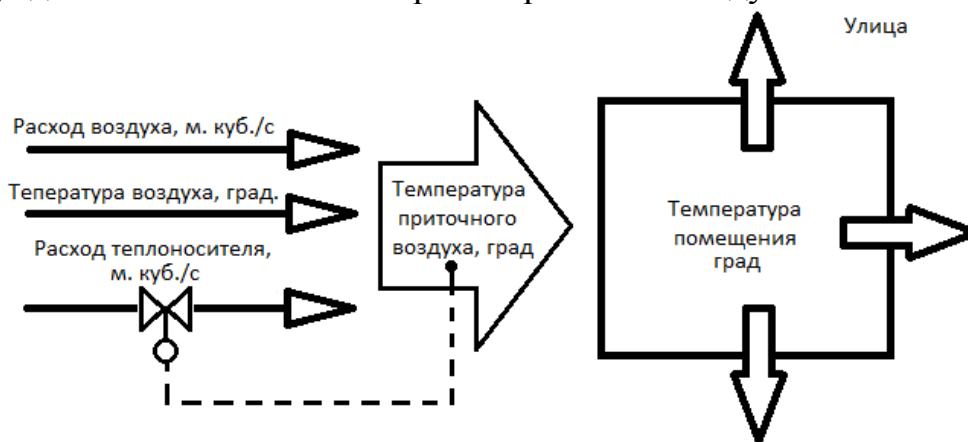


Рисунок 1-Вид исследуемой системы

Кривые изменения температуры приточного воздуха (пунктирная линия) и температуры в помещении (сплошная линия) показаны на рисунке 2. В начале изменение температуры в помещении происходит быстро. Это объясняется тем, что поступающая в помещение теплота идет на изменение температуры воздуха в объеме помещения и не аккумулируется ограждениями и оборудованием. Скорость изменения температуры в начальной части кривой зависит от интенсивности вентилирования помещения, характеризуемой кратностью воздухообмена.

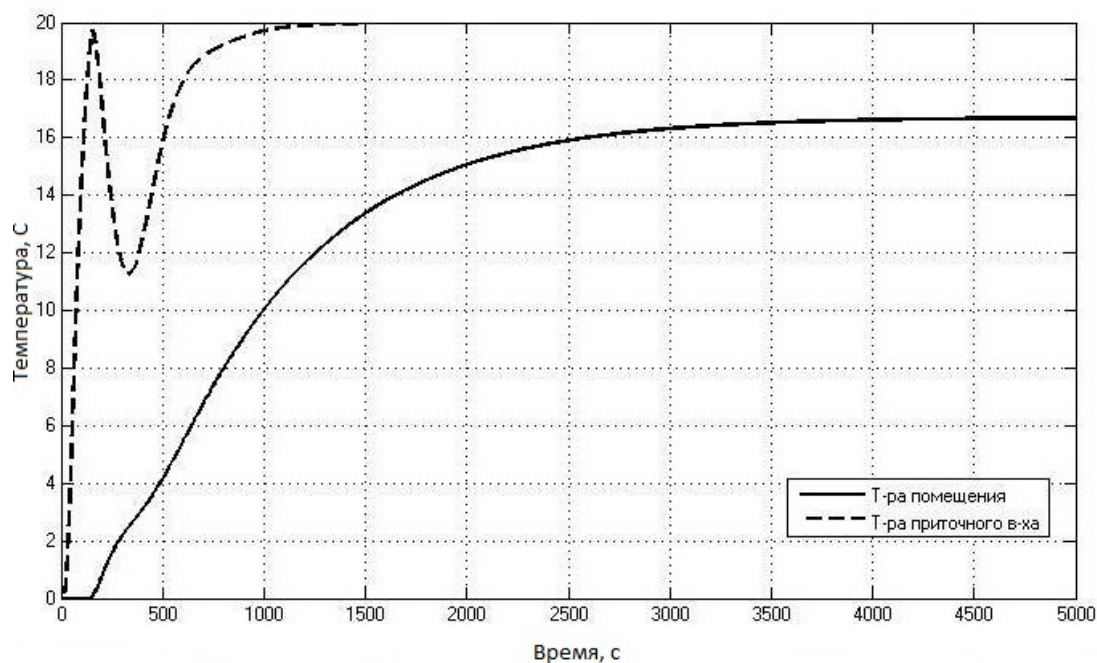


Рисунок 2-Кривые изменения температур приточного воздуха и температуры в помещении

По мере аккумуляции теплоты ограждениями и оборудованием скорость изменения температуры воздуха замедляется и переходный процесс в помещении зависит от инерционных свойств ограждений (постоянной времени).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сотников А. Г. Автоматизация систем кондиционирования воздуха и вентиляции.- Л.: Машиностроение, 1984.- 240 с.
2. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха // Е.С. Бондарь, А.С. Гордиенко, В.А, Михайлов, Г.В. Нимич.- К.: Аванпост-Прим, 2005.- 560 с.

С.А. Овцов, магистр.,
 Д.С. Карпович, канд. техн. наук,
 В. В. Сарока, канд. техн. наук,
 Д.А. Гринюк, канд. техн. наук,
 И.Ф. Кузьмицкий, канд. техн. наук,
 О.Б. Барашко, канд. техн. наук
 (БГТУ, г. Минск)

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОРТАЛЬНОГО АВТООПЕРАТОРА ДЛЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ ДО 250КГ

Работа портального автооператора гальванической линии имеет строго циклический характер, при этом переходные режимы движения их механизмов занимают значительную часть от всей длительности рабочего цикла автооператора. Одним из способов повышения эффективности работы автоматизированной гальванической линии является оптимизация переходных режимов движения автооператора с подвеской (разгон / торможение). Поставим комплексную задачу оптимального управления движением автооператора с подвеской. Эта задача заключается в том, что необходимо найти оптимальное управление движением автооператора при устранении колебаний подвески до момента остановки. Такая постановка задачи позволяет разгонять портальный автооператор по любому закону, при этом колебания подвески сохраняются в течение установившегося движения. Однако, как известно, установившееся движение автооператора составляет небольшую часть от общей продолжительности его перемещения - оно может быть даже отсутствовать. Поэтому целесообразно поставить задачу устранения колебаний груза именно в течение торможения подвески. Таким образом примем, что подвеска с деталями в начале затормаживания колеблется (ненулевые начальные фазовые координаты системы). Новые фазовые координаты системы будут определяться из таких зависимостей:

$$\bar{x}^{(i)} = q^{(i)} - x^{(i)}, \quad i = 0, 1, \dots, n, \quad (1)$$

где $x^{(i)}$ - фазовая координата системы i -го порядка;

$q^{(i)}$ - значение фазовой координаты $x^{(i)}$ в конце разгона автооператора;

n - количество фазовых координат системы.

Векторная функция $\bar{x}^{(i)}$ отражает погрешность достижения определенной точки на фазовом пространстве. После окончания переходного процесса она превращается в ноль.

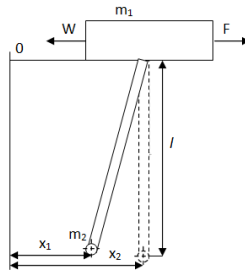


Рисунок 1. Модель системы «рама-подвеска».

Приведена расчетная схема (рис. 1) описывается ется системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_1 \dot{x}_1 + m_2 \dot{x}_2 = F - W \operatorname{sign} \dot{x}_1, \\ \ddot{x}_2 + \frac{g}{l} (x_2 - \bar{o}_1) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где m_1, m_2 - приведенная масса рамы автооператора и подвески с грузом; x_1, x_2 - координаты центров масс соответственно рамы и подвески; g - ускорение свободного падения; l - длина подвески, F - суммарное тяговое или тормозное усилие, действующее на раму; W - приведенная сила сопротивления перемещению рамы.

Принимаем, что при перемещении рамы в течение торможения рама не меняет свою скорость, то есть $\operatorname{sign} \dot{x}_1 = 1$. Приведенную систему дифференциальных уравнений можно свести к одному уравнению второго порядка относительно разницы перемещений $x = x_1 - x_2$:

$$\ddot{x} + \omega^2 x = \frac{F - W}{m_1}, \quad (3)$$

где $\omega = \sqrt{\frac{(m_1 + m_2)g}{m_1 l}}$ - частота собственных колебаний груза.

Дифференциальное уравнение (3) можно представить в виде системы канонических уравнений, если принять следующие обозначения $u = \frac{F - W}{m_1}$, $y_1 = x$:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_2 \\ \dot{y}_2 = u - \omega^2 y_1. \end{cases} \quad (4)$$

На управление накладываются ограничения в виде неравенства: $|u| \leq u_{\max}$.

В качестве критерия оптимизации выберем комплексный (кинематически-динамический) интегральный критерий, который отражает в соответствующих пропорциях величину квадрата отклонения подвески с грузом от вертикали и величину квадрата динамической составляющей приводного усилия:

$$I = \int_0^T \left[k_1 x^2 + k_2 \left(\frac{F - W}{m_1} \right)^2 \right] dt, \quad (5)$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, стоящие при единичных условиях и которые можно записать в таком виде:

$$\begin{cases} k_1 = \delta_1 \bar{I}_1^{-1}, \\ k_2 = (1 - \delta_1) m_1^2 \bar{I}_2^{-1}, \end{cases} \quad (6)$$

где δ_1 – весовой коэффициент, учитывающий важность первого слагаемого в подынтегральное выражении критерия (5);

\bar{I}_1, \bar{I}_2 - минимально возможные значения единичных критериев. Такая структура критерия позволяет получить оптимальное по Парето-управления движением автооператора.

По некоторым видам операций транспортировки рамы требуется, чтобы величина отклонения подвески с грузом от вертикали была минимальной. Что касается минимизации динамической составляющей приводного усилия, то это позволит уменьшить электрические потери в обмотках двигателя, поскольку эквивалентный момент асинхронного двигателя и двигателя постоянного тока независимого возбуждения примерно пропорциональны эквивалентного тока, которым и определяются электрические потери.

С учетом введенных выше обозначений критерий по выражению (5) можно переписать в таком виде:

$$I = \int_0^T [k_1 y_1^2 + k_2 u^2] dt \quad (7)$$

Для минимизации критерия (7) используем метод динамического программирования Р. Беллмана. Основное функциональное уравнение запишем так:

$$\min \left[k_1 y_1^2 + k_2 u^2 + \frac{\partial S}{\partial y_1} y_2 + \frac{\partial S}{\partial y_2} (u - \omega^2 y_1) \right] = 0 \quad (8)$$

где S - функция Беллмана.

Минимум правой части уравнения (8) искать по параметру управления u , для чего продифференцируем ее по u и приравняем полученное к нулю:

$$2k_2 u + \frac{\partial S}{\partial y_2} = 0 \quad (9)$$

Найдем из уравнения (8) управления u :

$$u = -\frac{1}{2k_2} \frac{\partial S}{\partial y_2}. \quad (10)$$

Подставив полученное в уравнение (8), получим:

$$k_1 y_1^2 + \frac{\partial S}{\partial y_1} y_2 - \frac{\partial S}{\partial y_2} y_1 \omega^2 - \frac{1}{4k_2} \left(\frac{\partial S}{\partial y_2} \right)^2 = 0. \quad (11)$$

Уравнение (11) является нелинейным дифференциальным уравнением в частных производных. Искать его решение в виде квадратичной формы, как это принято при решении подобных задач:

$$S = A_1 y_1^2 + A_2 y_1 y_2 + A_3 y_2^2, \quad (12)$$

где A_1, A_2, A_3 – коэффициенты, которые необходимо определить.

Возьмем частные производные выражения (11) по параметрам

$$\frac{\partial S}{\partial y_1} = 2A_1 y_1 + A_3 y_2, \quad \frac{\partial S}{\partial y_2} = A_3 y_1 + 2A_2 y_2, \quad (13)$$

Подставим выражения (13) в уравнение (11) и получим:

$$\left(k_1 - \frac{A_3^2}{4k_2} - A_3 \omega^2 \right) y_1^2 + \left(A_3 - \frac{A_2^2}{k_2} \right) y_1^2 + \left(2A_1 - \frac{A_2 A_3}{k_2} - 2A_2 \omega^2 \right) y_1 y_2 = 0 \quad (14)$$

Уравнение (14) будет справедливым в том случае, когда выражения в скобках будут равны нулю, поскольку $y_1 \neq 0, y_2 \neq 0$. Поэтому уравнение (14) можно заменить на систему нелинейных алгебраических уравнений:

$$k_1 - \frac{A_3^2}{4k_2} - A_3 \omega^2 = 0, \quad A_3 - \frac{A_2^2}{k_2} = 0, \quad 2A_1 - \frac{A_2 A_3}{k_2} - 2A_2 \omega^2 = 0. \quad (15)$$

Решение системы уравнений (15) будет иметь два действительных и два комплексных корня. Выберем один действительный корень, не приводит к потере устойчивости системы, поскольку движение системы при этом является плавным, а максимальная величина управления - незначительной.

Подставив найденные корни в выражение (10), получим функцию оптимального управления:

$$u = \frac{y_1 \left[k_2 \omega^2 - \sqrt{k_2 (k_1 + k_2 \omega^4)} \right] - \sqrt{2} y_2 \sqrt{k_2 \left[\sqrt{k_2 (k_1 + k_2 \omega^4)} - k_2 \omega^4 \right]}}{k_2}. \quad (16)$$

Недостатком полученного оптимального управления является то, что длина подвески остается неизменной во времени - это делает невозможным совмещать две операции: перемещение рамы и подъема / опускания груза, что, в свою очередь, увеличивает продолжительность перемещения груза из одного положения в другое. Поэтому необходимо определить оптимальный режим подъема / опускания груза.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МЕТОДАМИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ.

Изучение свойств и особенностей объектов с помощью современных методов обработки информации основывается на построении модели изучаемого объекта по наблюдаемым данным— входным и выходным сигналам. Построение модели объекта по наблюдаемым данным называется идентификацией и включает определение его структуры и параметров. Идентификацию динамических объектов можно разделить на непараметрическую и параметрическую.

Наиболее распространённым методом непараметрической идентификации является метод площадей Симою М.П. В основе метода площадей лежит предположение, что объект может быть описан линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами, а его нормированная (приведенная к 1) переходная характеристика может быть аппроксимирована передаточной функцией [1].

Наиболее распространённым методом оценивания параметров, служащий базовым подходом к параметрической идентификации, является метод наименьших квадратов, который в предположении линейности и дискретности во времени объекта приводит к наиболее простым и адекватным решениям [2].

В случае, когда оценивание параметров объекта производится на основе конечного числа экспериментальных данных о значениях входного и выходного сигнала целесообразно использовать дискретные формы его описания, например авто регрессионную модель, которая может быть задана следующим разностным уравнением:

$$y(k) + a_1 y(k-1) + \dots + a_{na} y(k-na) = b_1 u(k-nk) + \dots + b_{nb} u(k-nk-nb+1),$$

где $y(k)$ – выходной сигнал объекта идентификации; $u(k)$ -входной сигнал объекта идентификации; nk – величина запаздывания.

В качестве критерия рассматривается критерий метода наименьших квадратов.

В данной работе рассматривается идентификация динамического объекта по методу площадей, реализованному с помощью программного кода пакета Matlab, и на основе авто регрессионной модели реализованной в графической интерактивной программе *ident*, входящей в состав инструментария *ident* пакета Matlab. В качестве экспериментальных данных рассматривается переходная характеристика

(кривая разгона) динамического объекта, как звена системы автоматического управления.

Программа `ident` предоставляет пользователю широкий набор средств для анализа и подтверждения модели. Был рассмотрен метод идентификации – `transferfunctionmodel` (модель в виде передаточной функции).

Непрерывная имитационная модель объекта имеет вид:

$$W(s) = \frac{1}{1.5 \cdot s^2 + 0.5 \cdot s + 1}$$

Дискретная модель объекта, полученная на основе применения экстраполятора нулевого порядка с периодом квантования 0.1:

$$W(z) = \frac{0.003295z^{-1} + 0.003258z^{-2}}{1 - 1.961z^{-1} + 0.9672z^{-2}}$$

Для времени моделирования 40 секунд получены следующие результаты.

Результаты, полученные на основе авто регрессионной модели второго порядка с использованием нелинейного метода наименьших квадратов в графической интерактивной программе `ident`, приложения MATLAB следующие:

1. дискретная передаточная функция

$$W(z) = \frac{0.006553}{1 - 1.961 \cdot z^{-1} + 0.9672 \cdot z^{-2}}$$

2. непрерывная передаточная функция

$$W(s) = \frac{1}{1.4999s^2 + 0.4999s + 1}$$

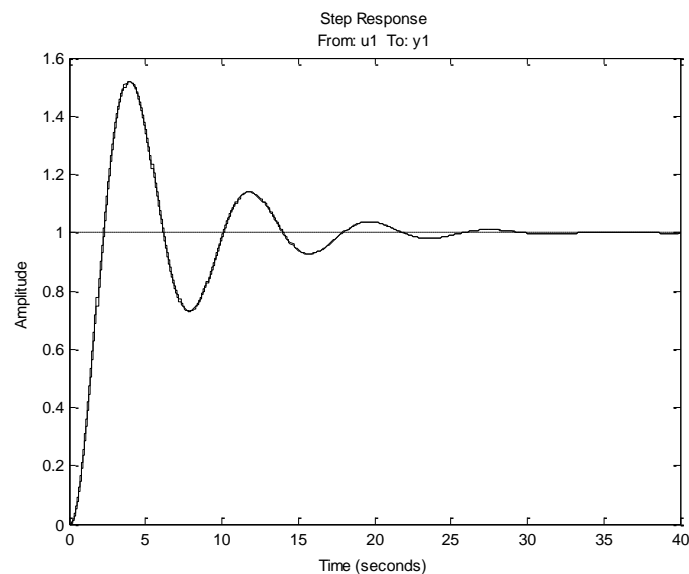


Рисунок 1 - Переходная характеристика для дискретной модели объекта и передаточной функции, полученной в графической интерактивной программе `ident`.

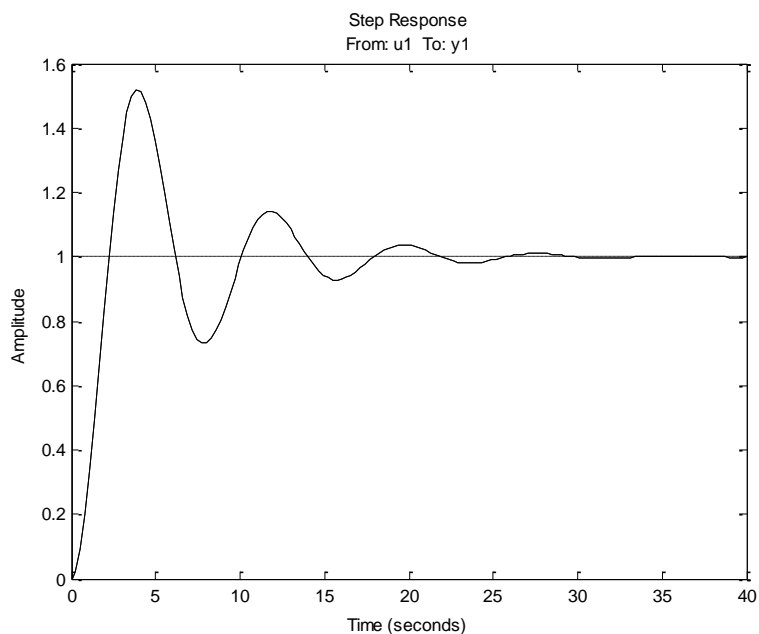


Рисунок 2. Переходная характеристика для непрерывной модели объекта и передаточной функции, полученной в графической интерактивной программе ident.

Результаты, полученные методом площадей:

$$W(s) = \frac{0.9988}{2.423s^2 + 0.4519s + 1}$$

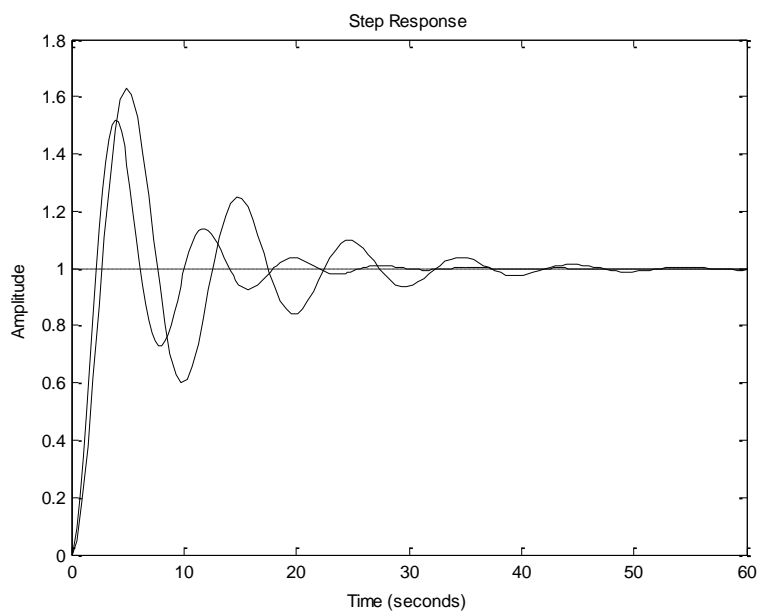


Рисунок 3. Переходная характеристика для непрерывной модели объекта и передаточной функции, полученной на основе метода площадей.

Средняя квадратичная ошибка составила для авто регрессионной модели – $1.8615 \cdot 10^{-22}$, для метода площадей – 0.0336. Для времени моделирования 80 секунд по методу площадей получены следующие результаты:

$$W(s) = \frac{1}{1.504s^2 + 0.4999s + 1}$$

Средняя квадратичная ошибка составила $3.8210 \cdot 10^{-7}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стефани Е.П. Основы настройки регуляторов теплоэнергетических процессов / Е.П. Стефани. М.: Энергия, 1972.

2. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений / Ю.В. Линник. М.: Физматиздат, 1962.

УДК 621.311:658.514.011.56

О.И. Александров, доц. к.т.н., Н.В. Радоман, инж. (БГТУ, г. Минск);
Т.Е. Жуковская, инж. (БНТУ, г. Минск)

ОПТИМИЗАЦИЯ КОММУТАЦИОННЫХ ВАРИАЦИЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ С УЧЕТОМ РЕМОНТНЫХ РАБОТ

Разработка эффективных методов повышения экономичности текущих режимов электроэнергетической системы (ЭЭС) приобретает актуальность в связи с повсеместно проводимой энергосберегающей политикой. Особенно важны при этом оптимизационные расчеты по определению режимов ЭЭС в период массовых отключений основного оборудования во время ремонта. В данном докладе приводятся постановка задачи и описание алгоритма оптимального планирования активных мощностей электростанций (ЭС) ЭЭС в период ремонтной кампании. В задаче учитывается динамика различных состояний основного оборудования ЭЭС при переходе от данного временного интервала к другому с соответствующим изменением состава работающих агрегатов. Алгоритм решения задачи составлен с учетом режимных ограничений на допустимые расходы топлива на отдельных ЭС и применением сочетания функциональной, временной и пространственной декомпозиций. Оптимизация выполняется с помощью хорошо известного метода ветвей и границ, причем сам процесс нахождения оптимальных значений активных мощностей определяется на каждом уровне функциональной и режимной иерархии.

Метод дает возможность выполнять оперативную коррекцию оптимального режима ЭЭС при введении внеплановых искусственных ограничений, в том числе при дефиците топлива на отдельных ЭС. В

этом случае предусмотрена процедура перехода от жестких режимных ограничений к неопределенно-расплывчатым. *Критерий оптимизации* – суммарный расход топлива на ЭС с учетом пусковых расходов. Целевая функция минимизируется в замкнутой области, определяемой системой режимно-технических ограничений, соответствующих разным требованиям. Различные состояния агрегатов ЭС и ЭСС характеризуются множеством кортежей с логическими переменными (0, 1 и 2), определяющими планируемые моменты включения, отключения и вывода оборудования в резерв (или ремонт). Состояние возможных переходов каждой ЭС описаны в виде графа, вершины которого суть составы оборудования, а ветви означают наличие самих переходов.

В функциональном аспекте в данной задаче выделяются две подзадачи: выбор оптимального состава включенных в работу агрегатов на электростанциях и определение оптимальных суточных графиков активных нагрузок станций.

Пусть $\theta^{(0)}, \theta^{(1)}, \dots, \theta^{(t)}, \dots, \theta^{(n)}$ – моменты времени планируемых суток, соответствующие различным дискретным состояниям ЭЭС, которые являются следствием принятой дискретизации суточных графиков нагрузок в узлах основной сети и заданных диспетчерской службой ЭЭС графиков изменения межсистемных перетоков активной мощности, а также сроков начала и конца ремонтов генерирующего и основного электросетевого оборудования, обусловленными решениями по ранее разрешенным оперативным заявкам. Тогда задачу выбора оптимальных составов генерирующего оборудования целесообразно сформулировать следующим образом:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T [B_j(i_j(t), P_j(t)) + D_j(s_j(t-1), i_j(t))] \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$S(0) = \{s_j(0) \mid j = \overline{1, n}\}; \quad (2)$$

$$(i_j(t-1), i_j(t)) = (\nu, \mu), \quad \nu \in X_j, \quad (\nu, \mu) \in \Gamma_j^{(\nu)}; \quad (3)$$

$$y_{\nu\mu}(s_j(t-1), t) = 1, \quad j = \overline{1, n}, \quad t = \overline{1, T};$$

$$\sum_{j=1}^n P_j(t) - P(t) - \pi(t) = 1, \quad t = \overline{1, T}; \quad (4)$$

$$P_j^{\min}(i_j(t)) \leq P_j(t) \leq P_j^{\max}(i_j(t)), \quad j = \overline{1, n}, \quad t = \overline{1, T}; \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n P_j^{\min}(i_j(t)) \leq (1 - r_-)(P(t) + \pi(t)), \quad t = \overline{1, T}; \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n P_j^{\max}(i_j(t)) \geq (1 - r_+)(P(t) + \pi(t)), \quad t = \overline{1, T}; \quad (7)$$

Здесь $S(t) = \{s_j(t) \mid j = \overline{1, n}, t = \overline{0, T}\}$, – состояние ЭЭС, т.е. множество кортежей, характеризующих состояния агрегатов станций к t -му моменту времени;

$$S_j(t) = ((Z_j^{(1)}(t), \tau_j^{(1)}(t)), (Z_j^{(2)}(t), \tau_j^{(2)}(t)), \dots, (Z_j^{(n_j)}(t), \tau_j^{(n_j)}(t))), j = \overline{1, n}, t = \overline{0, T};$$

$Z_j^{(k)}(t)$, $k = \overline{1, n_j}$, $j = \overline{1, n}$, $t = \overline{0, T}$ – логическая переменная, значения которой определяются как

$$Z_j^k(t) = \begin{cases} 0, k - \text{й агрегат } j - \text{й станции к } t - \text{му моменту времени отключен в ремонт;} \\ 1, k - \text{й агрегат } j - \text{й станции к } t - \text{му моменту времени отключен в резерв;} \\ 2, k - \text{й агрегат } j - \text{й станции к } t - \text{му моменту времени включен в работу;} \end{cases}$$

$\tau_j^k(t)$ – планируемый момент $\tau_j^k(t) \geq \theta^{(t)}$ окончания ремонта при $Z_j^k(t)=0$, либо момент отключения в резерв $\tau_j^k(t) < \theta^{(t)}$ при $Z_j^k(t)=1$, либо момент включения в работу $\tau_j^k(t) < \theta^{(t)}$ при $Z_j^k(t)=2$;

$$i_j(t) \in A = \{1, 2, \dots, m\}, j = \overline{1, n}, t = \overline{0, T}, m = \sum_{j=1}^n |x_j|,$$

– номер состава включенных в работу агрегатов на j -й станции к i -му моменту; (X_j, Γ_j) , $j = \overline{1, n}$, – граф переходов составов агрегатов на j -й станции, произвольный узел которого $\nu \in X_j, X_j \in A$, соответствует одному из возможных составов агрегатов, а ветвь $(\nu, \mu) \in \Gamma_j$ указывает на возможность непосредственного перехода в фиксированный момент времени из состава ν в состав μ ; $\Gamma_j^{(\nu)} \subset \Gamma_j, \nu \in X_j, j = \overline{1, n}$, – множество ветвей графа (X_j, Γ_j) , выходящих из узла ν ; $y_{\nu\mu}, \nu \in X_j, \mu \in X_j, (\nu, \mu) \in \Gamma_j, j = \overline{1, n}$ – логическая переменная, значения которой определяется как

$$y_{\nu\mu}(s_j(t-1), t) = \begin{cases} 1, \text{ переход от состава } \nu \text{ к составу } \mu \text{ возможен из состояния } s_j(t-1) \\ \text{ в момент } t \text{ возможен;} \\ 0, \text{ переход от состава } \nu \text{ к составу } \mu \text{ из состояния } s_j(t-1) \text{ в момент } t \\ \text{ невозможен, } t = \overline{1, T}, \end{cases}$$

$P_j(t)$, $j = \overline{1, n}$, $t = \overline{1, T}$ – мощность j -й станции на t -м интервале времени, т.е. интервале $[\theta^{(t-1)}, \theta^{(t)}]$; $P_j^{\min}(t)$, $P_j^{\max}(t)$, $j = \overline{1, n}$, $t = \overline{1, T}$, – технический минимум нагрузки и располагаемая мощность j -й станции при составе агрегатов $i_j(t)$; $P(t)$ – суммарная активная нагрузка ЭЭС с учетом перетоков по межсистемным связям; $\pi(t)$ – потери активной мощности в основной сети ЭЭС t -м интервале; $D_j(s_j(t-1), i_j(t))$, $j = \overline{1, n}, t = \overline{1, T}$, – расход топлива на переход из состоя-

ния $s_j(t-1)$ к составу $i_j(t)$; $B_j(i_j(t), P_j(t))$, $j = \overline{1, n}$, $t = \overline{1, T}$, – расход топлива на t -м интервале при составе $i_j(t)$ и нагрузке $P_j(t)$ j -й станции, определяемый по соответствующей расходной характеристике $B_j(i_j, P_j)$ как

$$B_j(i_j(t), P_j(t)) = (\theta^t - \theta^{t-1})B_j(i_j, P_j);$$

r_+, r_- , $0 < r_- < 1$, $0 < r_+ < 1$ – заданные коэффициенты резерва соответственно по техническому минимуму и располагаемой мощности ЭЭС.

Из определения (8) компонентов $s_j(t)$ состояния $S(t)$ следует, что в случае когда составы $i_j(t-1), i_j(t)$ удовлетворяют ограничению (3), состояние $S(t)$ однозначно определяется состоянием $S(t-1)$ и составом $i_j(t)$, $j = \overline{1, n}$,

$$S(t) = f(S(t-1), I(t)),$$

где

$$I(t) = \{i_1(t), i_2(t), \dots, i_n(t)\}.$$

Составы $i_j(0)$, и множество $S(0)$ известны из решения соответствующей задачи на предшествующие сутки. Графы переходов (X_j, Γ_j) расходные характеристики $B_j(i_j, P_j)$ зависимости расходов на пуск или останов агрегатов $D_j(s_j(t-1), i_j(t))$, логические функции $y_{v\mu}(s_j(t-1), t)$, функции $P_j^{\min}(t)$, $P_j^{\max}(t)$ могут быть заблаговременно определены на нижнем уровне пространственной иерархии, т.е. решением ряда оптимизационных задач для каждой станции. Величины $P(t)$ находятся суммированием прогнозов активных нагрузок в узлах и заданных диспетчерской службой ЭЭС перетоков активной мощности по межсистемным связям. Величины $\pi(t)$ при первоначальном решении задач определяются путем прогнозирования соответствующего временного ряда, а при согласовании решения данной задачи и задачи нижнего уровня функциональной иерархии – в результате решения последней. Коэффициенты r_+, r_- являются заданными константами.

Состояние $S_j(t)$, составы $i_j(t)$ и мощности $P_j(t)$, $t = \overline{1, T}$, определяются путем решения задачи (1)-(7) методом ветвей и границ.

Подзадачи нижнего уровня функциональной иерархии формулируются следующим образом:

$$\begin{aligned} & \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^n B_{ij}(P_j^t) \rightarrow \min \\ & \sum_{j=1}^n P_j^t - \sum_{v=1}^l p_v^t - \pi^t(\mathbf{P}^t, \mathbf{p}^t) = 0 \quad t = \overline{1, T} \\ & -\bar{P}_k \leq \sum_{v=1}^l (C_{Pp, kv}^t p_v^t + C_{Pq, kv}^t q_v^t) - \sum_{j=1}^n C_{PQ, kj}^t Q_j^t - \end{aligned}$$

$$\sum_{t=1}^T B_{ij}(P_j^t) - B_j^\Sigma = 0, \quad j \in I;$$

$$\sum_{j=1}^n C_{pp,kj}^t P_j^t \leq P_k^+, \quad k = \overline{1,m}, \quad t = \overline{1,T};$$

Здесь P_j^t , $j = \overline{1,n}$, $t = \overline{1,T}$, – искомые оптимальные активные мощности станций; Q_j^t , $j = \overline{1,n}$, $t = \overline{1,T}$, – известные (из решения задач верхнего уровня временной иерархии) реактивные мощности станций; p_v^t , q_v^t , $v = \overline{1,l}$, $t = \overline{1,T}$, – прогнозы активных и реактивных нагрузок в потребительских узлах основной сети (либо заданные перетоки по межсистемным связям); $\mathbf{P}^t, \mathbf{p}^t$, $t = \overline{1,T}$, – векторы активных мощностей соответственно станций и потребительских узлов; $\pi^t(\mathbf{P}^t, \mathbf{p}^t) = 0$, $t = \overline{1,T}$, – потери активной мощности в основной сети ЭЭС; $I \subset \{1, 2, \dots, n\}$ – множество станций, для которых заданы суточные расходы топлива B_j^Σ , $j \in I$; P_k^-, P_k^+ , $k = \overline{1,m}$, $t = \overline{1,T}$, – заданные предельно допустимые перетоки активной мощности по k -й слабой связи в отрицательном и положительном направлении.

УДК 620.165.29

И.Г. Сухорукова, ассистент,
Д.А. Гринюк, канд. техн. наук,
И.О. Оробей, канд. техн. наук;
(БГТУ, г. Минск)

АПРОБАЦИЯ КРИТЕРИЯ СЕРИЙ К ПРИМЕНЕНИЮ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРАХ

На сегодняшний момент основные задачи управления реализуются с помощью программируемых логических контроллеров (ПЛК). Получение конкурентных преимуществ требует применения более сложных алгоритмов, адаптации локальных контуров под действием изменяющихся контуров и оптимизации в реальном времени. Вычислительные ресурсы разных классов ПЛК существенно отличаются. Контроллеры с высоким уровнем ресурсов, которые могут решать широкий класс задач управления, имеют более высокую стоимость. В то же время основную нагрузку по управлению в промышленности выполняют контроллеры с малой и средней вычислительной мощностью, в которых

имеется ограничение на объем памяти и реализацию алгоритмов теории управления.

Одной из возможностей предсказания смены режимов работы настроек системы регулирования при ограничении на вычислительные мощности является использование критерия серий для выявления изменений трендов. Исследования [1] по критерию серий проводились в условиях воздействия на информационный поток случайного процесса, сгенерированного с помощью программы MatLAB. Известно, что результаты, апробированные на математических моделях, нередко расходятся с данными, полученными на реальных объектах.

Было проведен ряд экспериментов, базой для которых служил контроллер VIPA 200V. Он относится к серии средних ПЛК. Время выполнения операции с битами – 0,25 мкс, со словами – 1,2 мкс. Объем памяти: 48 кВ рабочая память, 80 кВ загрузочная память.

Контроллер подключен к оборудованию с тепловыми нагревателями, которые обдувались потоком воздуха. Скорость потока регулировалась путем изменения частоты вращения двигателя вентилятора. В качестве информативных параметров использовались температуры воздуха на входе и выходе, информация о частоте с привода напрямую и через вторичный преобразователь. Каждый из этих информационных каналов обладает своей особенностью, связанной с источником сигнала и способом попадания во входной регистр контроллера в виде цифровых данных.

Один из входных модулей имеет 12-битовый выходной цифровой код с максимальным значением 16 384, но с учетом того, что три младших разряда всегда имеют нулевое значение, то весь диапазон разбивается всего на 2048 уникальных комбинаций цифрового кода (рис. 1). У другого модуля контроллера максимальное значение сигнала 27 648. В нашем случае ко второму модулю подключен термометр сопротивления с градуировкой Pt100 (поток 1) и младшему значащему разряду (МЗР) соответствует температура 0,1°C. Однако, как и в первом случае, часть младших разрядов также заполняется нулями. Для сглаживания использовался экспоненциальный и бегущего среднего фильтры. Время дискретизации настраивалось с помощью встроенного механизма организационного блока OV35, который устанавливает время дискретизации $h = 500$ мс как для экспоненциального фильтра с постоянными времени $T = 10$ с (поток 2) или $T = 100$ с (поток 3), так и для скользящего среднего с длиной b .

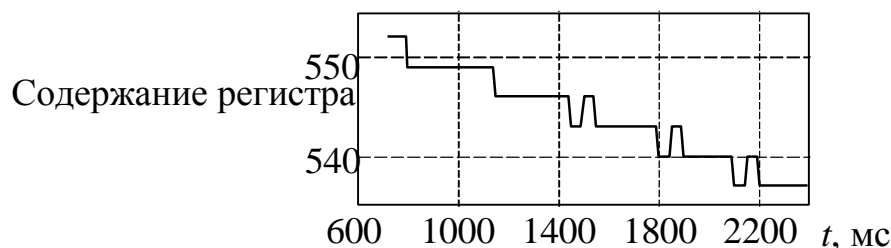


Рисунок 1 - Изменение во времени t данных потока 1

Управление и фиксация данных осуществлялись с помощью MatLAB по структуре обмена данными, приведенной на рис. 2. Скорость воздушного потока менялась как качко образно так и по линейному закону вверх и вниз. Данные эксперимента далеки от идеальных условий, которые можно получить в результате имитационного моделирования в MatLAB. Ограничение по разрядности работы входных АЦП, которые являются стандартом для современных контроллеров, существенно «замыливают» данные и затрудняют извлечение дополнительной информации из измерительных трактов.

Встроенные в MatLAB тесты: Jarque–Bera, Lilliefors, Kolmogorov–Smirnov – указывают на то, что измерительные каналы подвержены влиянию шумов практически с нормальным распределением.

Некоторые результаты обработки данных относительно среднего значения серий μ отражены на рис. 2–5. Чтобы не утратить преимущество данного критерия, для ПЛК длина серий N не задавалась выше 128. В отличие от математических экспериментов [1], в данном случае присутствует дополнительная настройка времени выборки данных t_i . Выбор t_i зависит от динамических свойств измерительных и регулируемых каналов. Для данного объекта оптимальным является значение в районе 8–12 с.

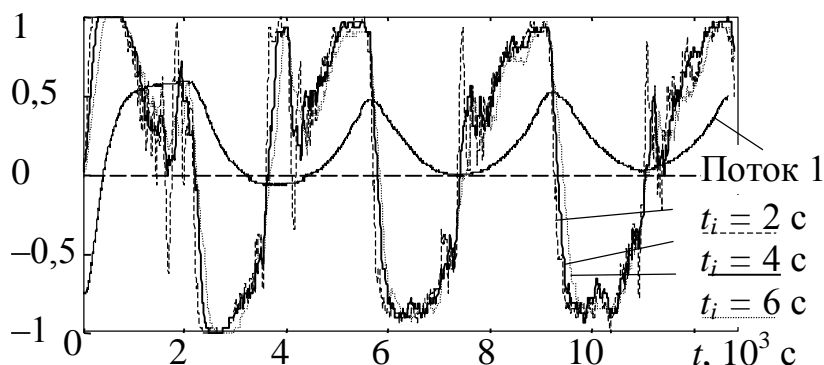


Рисунок 2 - Относительные изменения θ_{out} и μ при длине серии $N = 48$ и разном времени дискретизации t_i

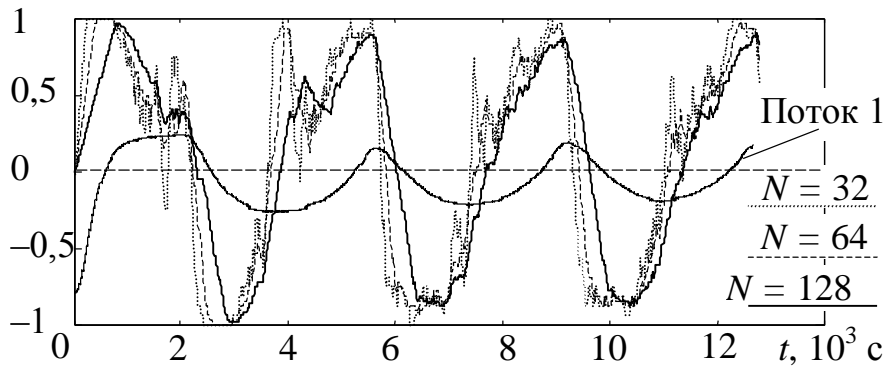


Рисунок 3. Относительные изменения θ_{out} и μ при $t_i = 6$ с и разной длине серии

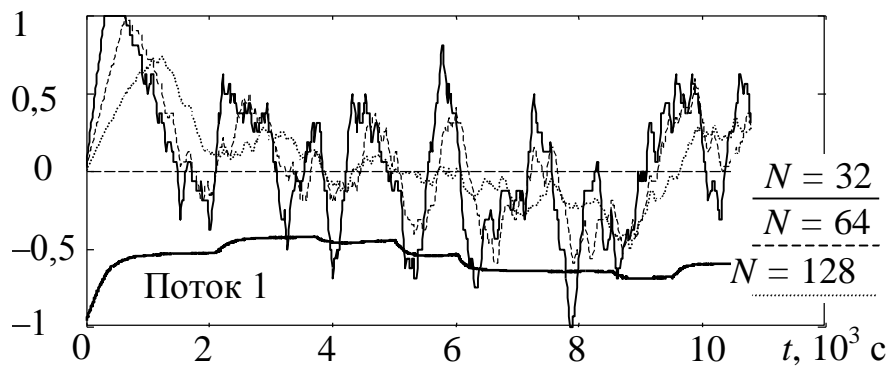


Рисунок 4 - Относительные изменения θ_{out} и μ при $t_i = 10$ с и разной длине серии

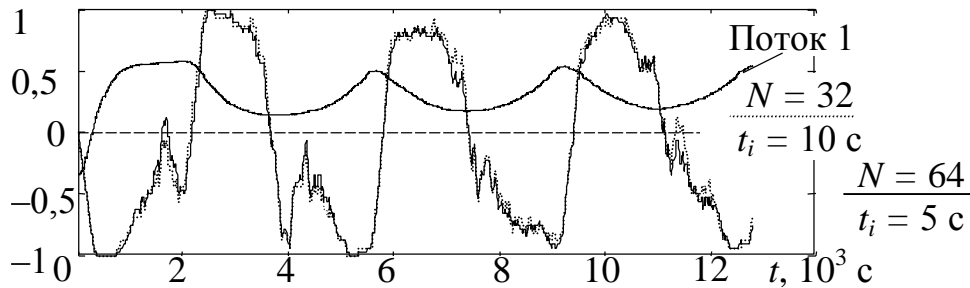


Рисунок 5 - Относительные изменения θ_{out} и μ при $N t_i = \text{const}$

При $N t_i = \text{const}$ наблюдается практически полное совпадение (рис. 5). Увеличение длины серии при $N t_i = \text{const}$ способствует сглаживанию колебаний μ . В случае наличия в работе фильтра существенной статической ошибки относительно исходных данных наблюдается асимметрия реагирования на изменения параметра в сторону повышения или уменьшения. Графики на рис. 2–4 приведены для фильтра с постоянной времени $T = 100$ с. Для фильтра с меньшей постоянной они более зашумлены и в большей степени нелинейны. Это в первую очередь обусловлено существенной разницей в характеристике

между аналоговым фильтром и его цифровой реализацией. При фильтрации данных с помощью MatLAB более идеальные результаты.

Фильтр скользящего среднего не позволил уверенно выявлять тренды ввиду несоизмеримости его длины со скоростями изменения измерительной информации. Формирование FIFO для данного фильтра в MatLAB со значительно большими интервалами позволило обеспечить устойчивую работу критерия серий.

Анализ результатов обработки данных с помощью критерия серий по входной температуре не выявил проблем с выявлением нестационарности. Малое проявление дискретизационных эффектов в данном измерительном канале обеспечило устойчивую работу критерия.

В целом для задач выявления резких изменений трендов информационных потоков критерий серий проявил себя с наилучшей стороны. Высокое быстроедействие ПЛК позволяет ограничиться невысокой длиной серий N для выявления критических явлений. Тщательная настройка $N_{ит}$ может позволить производить грубую оценку скорости, особенно, если оценивать μ по нескольким N .

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухорукова И. Г., Оробей И. О., Гринюк Д. А. Эффективность работы адаптации фильтра на критерии серий // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. 2011. Вып. XIX. С. 107–111.

УДК 664.143

Н. С. Голуб, магистр
(БГТУ, Минск)

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ УПАКОВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОНДИТЕРСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

В связи с развитием современной техники особую важность приобрели многочисленные вопросы повышения эффективности различного рода устройств. Комплексная автоматизация производственных процессов ставит перед управляющими устройствами ответственные задачи, которые должны выполняться на протяжении всего периода работы автоматической линии, автоматизированного цеха или предприятия. Перерыв в работе управляющего устройства может привести не только к ухудшению качества производимой продукции или к полному прекращению производственного процесса, но и к весьма серьезным авариям, выходящим за локальные рамки предприятия [1].

Теория надежности устанавливает закономерности возникновения отказов устройств и методы их прогнозирования. Теория надежности вводит в рассмотрение количественные показатели качества продукции. Для исследования и решения значительной части вопросов, возникающих в теории надежности, оказываются необходимыми методы теории вероятностей и математической статистики. Какими бы не были условия постоянства в процессе производства, однородности исходных материалов и неизменности технологии изготовления, неизбежные колебания всех этих компонентов приводят к существенному разбросу свойств готовых изделий. Молекулярные свойства веществ имеют значения для механических устройств. Процессы износа и упрочнения материалов неизбежно связаны с их молекулярной структуры.

Для обеспечения надежности упаковочного оборудования на протяжении его жизненного цикла необходим системный подход. Его практическая реализация возможна путем построения системы управления надежностью (СУН) упаковочного оборудования.

Блоки системы управления надежностью упаковочного оборудования:

- 1) организационные мероприятия: система обслуживания, ремонтов оборудования, анализ частоты причин отказов, работа с персоналом (обучение, повышение квалификации);
- 2) технические мероприятия: изменение конструкции узла или устройства, замена материала, изменение условий эксплуатации, корректировка параметров упаковки, корректировка упаковочных материалов;
- 3) блок оперативного управления;
- 4) блок формирования и анализа ТЭП.

Организационные и технические мероприятия рассматривают оборудование в целом, т. е. вопросы непосредственно связанные с надежностью. В ходе данного исследования были проанализированы статистические данные об отказах оборудования ООО «Первая шоколадная компания» за 2005–2013 гг., зафиксированные в журнале регистрации отказа оборудования. Зафиксированные в журналах данные на первом этапе обработки были введены в электронные таблицы Excel и отсортированы. Далее была проведена аппроксимация данных законами распределения, которая показала, что вероятность отказа подчиняется экспоненциальному закону распределения, распределениям Эрланга и Вейбулла-Гнеденко. Для проверки гипотезы о соответствии эмпирического распределения предполагаемому теоретическому распределению используется критерий согласия Пирсона χ^2 [2]. Значения приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Параметры законов распределения, значения критерия Пирсона для глазировочной линии

Распределение, параметры	Значение параметров	Критерий Пирсона, χ^2	Дисперсия	Табличное значение, $\chi^2_{\alpha\nu}$
Глазировочная линия				
Экспоненциальное, λ	0,158	15,716	0,013	16,919
Вейбулла-Гнеденко, β , θ	1,59 7,06	15,179	0,019	15,507
Эрланга, α , n	0,383 2,423	15,348	0,016	15,507

Вместе с тем, параметр формы в распределении Эрланга n и параметр асимметрии в распределении Вейбулла-Гнеденко β , получились практически равными единице. В результате оба эти распределения свелись к экспоненциальному закону, который для них является частным случаем.

В работе рассчитаны параметры среднего времени безотказности работы и средней частоты отказов для кондитерского оборудования. Пример приведен в табл. 2.

Надежность оборудования отражают основные комплексными показателями надежности. Они позволяют оценить влияние различных факторов на производительность технической системы. Надежность же в свою очередь влияет на производительность оборудования, и при частых простоях значительно снижает ее.

Таблица 2 - Параметры среднего времени безотказности работы, средней частоты отказов для глазировочной линии и упаковщика SIG

Вид оборудования	Единицы интервала времени, T	Интенсивность отказов, λ в единицах $1/T_0$	Среднее время безотказной работы, T_0	Среднее время безотказной работы в месяцах	Средняя частота отказов, $\omega(t)$
Глазировочная линия	1 месяц	0,158	6,329	6,329	0,158
Упаковщик SIG	5 месяцев	0,294	3,401	17,005	0,294

К комплексным показателям надежности относятся коэффициент готовности, коэффициент технического использования, коэффициент общего использования. Коэффициент восстановления составляет 0,3–0,4 первоначального ресурса. На промышленном предприятии коэффициент восстановления составляет 0,8–1,0 [3]. Частота отказов и время нахождения в ремонте непосредственно влияют на ко-

эffiциент общего использования, который влияет на фактическую производительность. Если коэффициент общего использования падает, то уменьшается и фактическая производительность, что увеличивает время на упаковывание изделий.

Более детально влияние потерь времени по рассматриваемым причинам отражает относительная производительность [4]. В табл. 3 приведены данные относительных производительностей.

Таблица 3 - Относительные производительности

Наименование цеха и оборудования	$\tilde{Q}_{сп}$	$\tilde{Q}_{тп}$	$\tilde{Q}_{ои}$
Цех приготовления шоколадной массы	0,926	0,836	0,807
Цех производства шоколада	0,925	0,835	0,816
Цех производства конфет	0,914	0,826	0,798
Глазировачная линия	0,942	0,870	0,839
Шоколадная линия	0,921	0,853	0,823
Упаковщик SIG	0,917	0,849	0,831
Упаковщик Линепак	0,936	0,865	0,835
Дозатор № 2	0,923	0,854	0,824
Шаровая мельница UNICON	0,945	0,872	0,841
Прессовый насос Universal	0,922	0,853	0,823

Как видно в табл. 3 среди цехов кондитерской фабрики в наибольшей степени из-за простоев и отказов оборудования снижается производительность цеха изготовления конфет и шоколадной массы. Снижение средней производительности относительно номинальной составляет 18–20 %.

Для упаковочного оборудования, как в составе технологических линий, так и установленного отдельно уровень потери производительности примерно одинаков и составляет 16–18 %. В аналогичных границах находятся и снижение производительности отдельных агрегатов — шаровой мельницы, прессового насоса, что должно учитываться при составлении местных норм выработки, чем занимается блок оперативного управления.

На основе этого блока формируется состав показателей, вводимых в справочно-информационную систему. Объем контролируемых показателей на нижнем уровне управления наибольший и сокращается по мере продвижения к верхнему уровню управления. Постоянная и точная работа оборудования позволяет поддерживать производительность с отклонением от номинальной на 3–5 %, что является хорошим показателем для работы упаковочного оборудования кондитерских предприятий, за этим должен постоянно следить оперативный блок.

Что же касается блока формирования и анализа ТЭП, то его действия на надежность оборудования часто противоречивы. Замена или уста-

новка детали в оборудование требует денежных затрат, но при этом значительно увеличивается надежность оборудования и качество товара.

Создание на предприятии СУН упаковочного оборудования позволит предприятию работать на высоком уровне, эффективно вести производство и быть конкурентоспособным. СУН устанавливает закономерности возникновения отказов устройств и методы их прогнозирования, изыскивает способы повышения надежности изделий при конструировании и последующем изготовлении, а также приемы поддержания надежности во время их хранения и эксплуатации, разрабатывает методы проверки надежности изделий и способы контроля надежности при приемке больших партий продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
2. Голуб, Н. С. Надежность кондитерского упаковочного оборудования / Н. С. Голуб, М. И. Кулак // Труды БГТУ. – 2014. – № 8: Издат. дело и полиграфия. – С. 6.
3. Олейникова, А. Я. Проектирование кондитерских предприятий / А. Я. Олейникова, Г. О. Магомедов. – СПб.: Книга, 2005. – 416 с.
4. Голуб, Н. С. Взаимосвязь комплексных показателей надежности и производительности упаковочного оборудования / Н. С. Голуб, М. И. Кулак // Труды БГТУ. – 2014. – № 8: Издат. дело и полиграфия. – С. 4.

УДК 620.165.29

Н.М. Олиферович, ассистент,
Д.А. Гринюк, канд. техн. наук,
И.О. Оробей, канд. техн. наук;
(БГТУ, г. Минск)

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВПИТЫВАНИЯ

Существует ряд приборов, работа которых основана на преобразовании физических величин в изменение емкости: емкостные уровнемеры и манометры, преобразователи влажности и т. д. [1–3].

Измерительные схемы преобразователей могут быть построены на различных принципах, однако наибольшее распространение получили приборы на основе преобразования емкости в частоту (время) за счет мультивибраторов [4] или резонансных контуров [1–2, 5]. Данные подходы к построению измерительных схем в той или иной сте-

пени чувствительны к паразитной активной составляющей преобразователей.

Проведенные эксперименты по изучению динамики пропитки фильтровальной бумаги на базе прибора Е7-12 для различных жидкостей показали, что активное сопротивление схемы замещения (рис. 1, а) может меняться от 160 Ом до 12 000 Ом, а емкость 0,250 до 4,73 нФ [5]. Прибор Е7-12 проводит измерения на частоте 1 МГц. Для оценки динамических свойств на других частотах последовательно с измерительным конденсатором (первичный преобразователь Z_C) включали добавочный резистор R (рис. 1, б). Схему подключали к генератору с переменной частотой, вырабатывающему напряжение U .

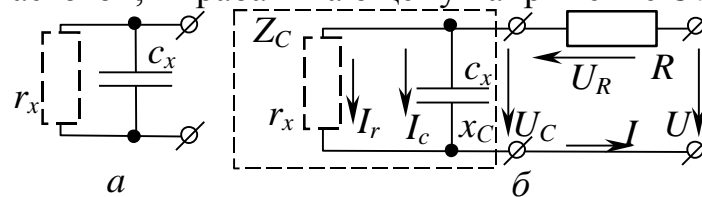


Рисунок 1 - Схема замещения измерительной ячейки (а) и измерительная схема эксперимента определения частотных характеристик (б)

В процессе измерения на различных частотах контролировали напряжения U_C , U_R и U , после чего производили перерасчет параметров схемы замещения (рис. 2). Для повышения точности R в процессе измерения подбиралось так, чтобы углы α , φ и их сумма была больше 10° , но меньше 80° . Напряжение в измерительной цепи было примерно 10 В, частота изменялась в диапазоне от 10 Гц до 1 МГц.

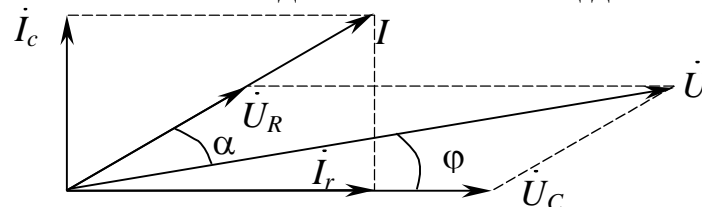


Рисунок 2 - Векторная диаграмма измерительной схемы

Измерения проводились на сухой и смоченной бумаге, которая получалась добавлением порций по 6 мл с выдержкой времени после полного впитывания. Первичный преобразователь подключался к генератору синусоидальных колебаний, после чего проводились измерения на контрольных частотах. В начале и конце измерения прибором Е7-12 контролировались параметры схемы замещения. Результаты усреднялись по трем сериям измерений.

Зависимости параметров схемы замещения от частоты представлены на графиках (рис. 3 – 6).

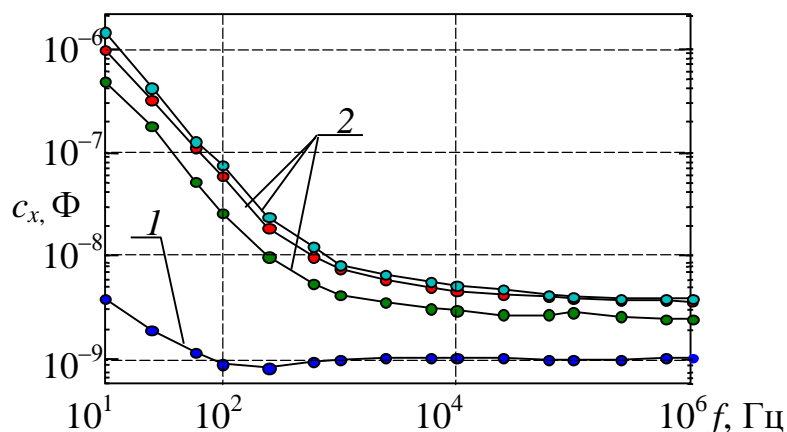


Рисунок 3 - Зависимость емкости c_x от частоты f для сухой (1) и смоченной (2) бумаги

При проведении измерений контрольные данные с Е7-12 показали, что, несмотря на небольшую продолжительность (не более 6 – 8 мин.) снятия параметров схемы, в бумаге проходят процессы, которые могут изменить параметры схемы замещения до 8%.

Сопrotивления r_x и Z_C не могут напрямую использованы для определения динамики пропитки с помощью резонансной схемы или схемы с мультивибратором, поскольку данные параметры существенно зависят от частоты во всем диапазоне проведенных исследований. По результатам экспериментов кривые зависимости радиуса пропитки от емкости имеют более линейный характер (рис. 4), что указывает на предпочтительное их использование для построения преобразователя измерителя емкости.

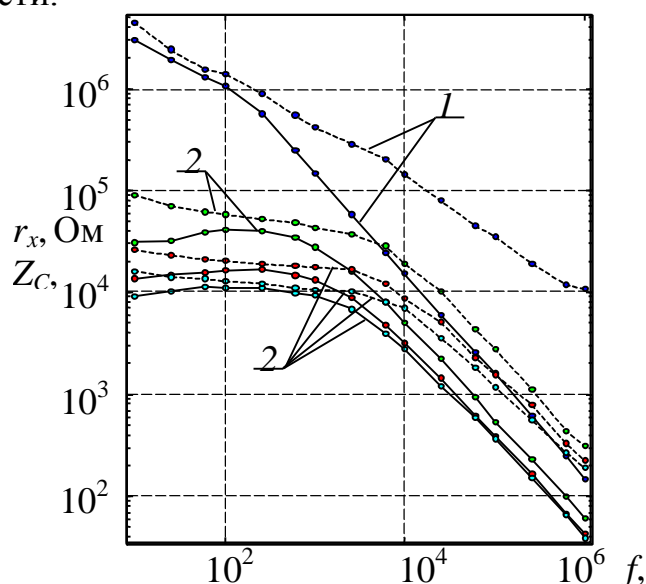


Рисунок 4 - Зависимость r_x (- -) и Z_C (—) от частоты для сухой (1) и смоченной (2) бумаги

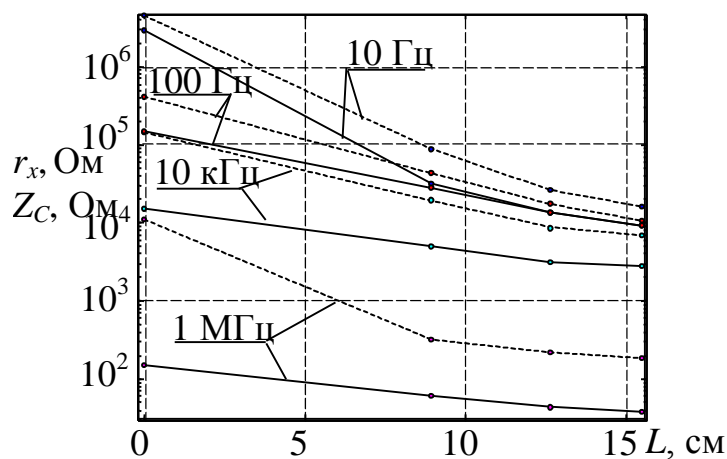


Рисунок 5 - Зависимость r_x (---) и Z_c (—) от радиуса L пропитки при различных частотах

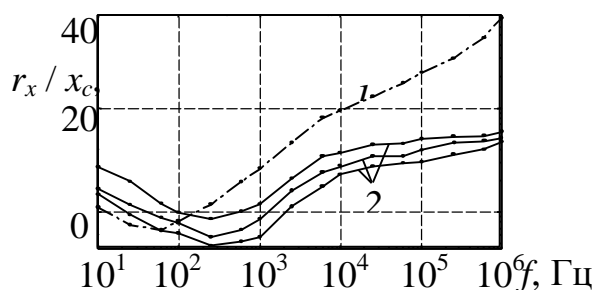


Рисунок 6 - Зависимость отношения r_x к x_c от частоты для сухой (1) и смоченной (2) бумаги

Использование s_x для идентификации динамики пропитки может быть положено в основу любого из рассмотренных принципов построения преобразователей. Начиная с 2,5 кГц зависимость емкости от частоты минимальна. Кроме того, увеличивается отношение между сопротивлениями r_x/x_c (рис. 7), уменьшается влияние r_x на точность измерения. Однако сдвиг рабочего диапазона преобразователей в сторону увеличения частоты будет приводить к увеличению измерительных токов, поскольку r_x быстро снижается и уже на частоте 100 кГц становится меньше 1 кОм.

Проведенные исследования показывают, что контроль емкости с целью определения координаты пропитки является наилучшим решением. Активное сопротивление измерительного конденсатора может вносить существенные погрешности в процесс измерения. Лучшими точностными характеристиками будут обладать схемы на гармонических сигналах с постоянной частотой. Схемы преобразования емкости во временные параметры сигнала не должны снижать частоту ниже 5 кГц, где у емкости может наблюдаться зависимость от частоты. Измерительные алгоритмы должны осуществлять проверку на скорость измерения параметров на начальной стадии пропитки и по необходи-

мости вносить корректировку в получаемые результаты из-за искажений формы сигнала от линейной. Меткой времени полученного результата при любом измерительном принципе лучше выбирать окончание измерительного такта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишмарев В. Ю. Средства измерений: учебник для студ. учреждений с проф. образованием. 4-е изд., стер. М.: Академия, 2010. 320 с.

2. Khandpur R. S. Handbook of Analytical Instruments. London: McGraw-Hill Professional, 2006. 770 p.

3. Гринюк Д. А., Оробей И. О., Богослав Н. М. Устройство непрерывного измерения процесса смачивания // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. 2011. Вып. XVIII. С. 108–112.

4. VladimirMitrovic. Pico C. // Elektor Electronics. 2011. № 4. P. 24–29.

5. Богослав Н. М., Гринюк Д. А., Оробей И. О. Экспериментальное исследование динамики круговой пропитки // Труды БГТУ. 2013. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 99–103.

УДК 628.978

В. П. Кобринец, доцент, к-ттехн. наук,
Н. П. Коровкина, доцент, к-тпед. наук,
Н. Н. Пустовалова, доцент, к-т техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАК СРЕДСТВО ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Энергосбережение сводится к снижению потерь энергии. Из общепринятой структуры потребителей электроэнергии, где электропривод занимает 60%, электрический транспорт – 9%, электротермия и электротехнология – 10%, освещение и прочие потребители – 21%, следует, что основной эффект может быть получен в наиболее энергоемкой сфере – сфере электропривода.

Переход к частотно-регулируемому электроприводу позволяет радикально решить проблему энерго- и ресурсосбережения.

Система «электронный преобразователь частоты – короткозамкнутый асинхронный двигатель» в настоящее время является оптимальным техническим решением массового электропривода. Она особенно привлекательна на стадии модернизации предприятия, так как сохраняется все существующее оборудование, но между сетью и двигателем включается новый элемент – преобразователь частоты, ра-

дикально меняющий весь технический и экономический облик системы. Из всей электроэнергии, потребляемой электроприводом, 40% приходится на электроприводы насосов и вентиляторов.

В электроприводе насосов обычно используется короткозамкнутый асинхронный электродвигатель, скорость которого целесообразно регулировать влияя на частоту и амплитуду питающего напряжения (частотное регулирование).

Переход от нерегулируемого асинхронного электропривода к электроприводу с регулируемой частотой вращения позволяет не только снизить потребление электроэнергии за счет оптимизации технологического процесса, но и уменьшить износ технологического и электрического оборудования, повысить надежность его эксплуатации, увеличить ресурс.

Рассмотрим эффективность энергосберегающего мероприятия для таких общепромышленных агрегатов, как насосы и вентиляторы. За критерии оценки приняты экономия электроэнергии в год и срок окупаемости.

Нерегулируемый электропривод. Для каждого уровня расхода Q и напора H определяется мощность, потребляемая электродвигателем насоса P_{ϕ} до установки ЧРЭП:

$$P_{\phi} = \frac{Q_n \cdot H_n}{367,2 \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_n}, \text{ кВт},$$

где Q_n – номинальная производительность насоса, м³/час; H_n – номинальный напор, развиваемый насосом, м; $\eta_{\text{дв}}$ – КПД двигателя; η_n – КПД насоса.

Регулируемый электропривод. После модернизации электропривода за счет снижения частоты вращения двигателя насоса уменьшается напор воды при тех же расходах и, следовательно, уменьшается мощность и электроэнергия.

Пересчет уровней напора и мощности для двух частот вращения ω_1 и ω_2 производится с помощью формул подобия:

$$Q_1 / Q_2 = \omega_1 / \omega_2; H_1 / H_2 = (\omega_1 / \omega_2)^2; P_1 / P_2 = (\omega_1 / \omega_2)^3.$$

Мощность $P_{\text{пч}}$, потребляемая насосным агрегатом после установки ЧРЭП, определяется соотношением:

$$P_{\text{пч}} = \frac{Q_n \cdot H_2}{367,2 \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_n \cdot \eta_{\text{пч}}}, \text{ кВт},$$

где Q_n – требуемая производительность насоса, м³/час; H_2 – требуемый напор, развиваемый насосом, м; $\eta_{\text{пч}}$ – КПД преобразователя.

Потребление электроэнергии до установки ЧРЭП:

$$W_{\phi} = P_{\phi} T_p,$$

где T_p – количество часов насоса в году.

Потребление электроэнергии после установки ЧРЭП:

$$W_{\text{пч}} = P_{\text{пч}} T_p$$

Экономия электроэнергии в год составит:

$$\Delta W = W_{\phi} - W_{\text{пч}} \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Стоимость сэкономленной электроэнергии:

$$\mathcal{E} = \Delta W \cdot C, \text{ руб.},$$

где C – стоимость кВт·ч электроэнергии, руб./кВт·ч.

Стоимость кВт·ч электроэнергии 481 бел.руб./кВт·ч.

При ориентировочном определении капитальных вложений (K) согласно [1] стоимость проектных работ – 4%, монтажных – 3%, пуско-наладочных – 5% от стоимости оборудования ($C_{\text{обор.}}$, т. руб.):

$$K = 1,12 C_{\text{обор.}}, \text{ т. руб}$$

Срок окупаемости S_o : $S_o = K/\mathcal{E}$, год

В табл. 1 приведены данные расчета по определению экономической эффективности при установке ЧРЭП на насосных агрегатах.

Таблица 1 - Показатели экономической эффективности

Наименование насоса	P_{ϕ} , кВт	$P_{\text{пч}}$, кВт	W_{ϕ} , кВт·ч	$W_{\text{пч}}$, кВт·ч	ΔW , кВт·ч	\mathcal{E} , т.руб	K , т.руб.	S_o , год
Насос для приготовления перегретой воды	58	34	222720	130560	92160	44328,9	31853	0,7
Насос подпитки	71	51,4	272640	197376	75264	36201,9	47544	1,3
Насос охлаждения	140	101	537600	387840	149760	72034,6	85579,2	1,2
Насос расхода сетевой воды	200	91	1752000	797160	954840	459278	104596	0,22

При использовании ЧРЭП на вентиляционных установках экономия электроэнергии определяется с учетом их фактической производительности. При этом применение ЧРЭП для вентилятора охлаждения оборотной воды на градирне позволяет регулировать подачу охлаждаемого воздуха в зависимости от температуры оборотной воды и температуры наружного воздуха. Так как температура воздуха в ночные часы ниже дневной, то появляется возможность уменьшения производительности вентилятора до 50% от номинальной.

Изменение основных параметров работы вентиляторов при изменении частоты вращения определяется «формулами подобия».

Частота вращения ротора двигателя вентилятора при установке ЧРЭП, об/мин:

$$n = Q_{\phi} / (Q_{\text{ном}} n_{\text{ном}}),$$

где Q_{ϕ} – фактическая производительность, м³/ч; $Q_{\text{ном}}$ – номинальная производительность при заданном давлении, м³/ч; $n_{\text{ном}}$ – номинальная частота вращения электродвигателя, об/мин.

Мощность на валу при установке ЧРЭП:

$$P_{пч} = P_{ном} n^3 / n_{ном}^3, \text{ кВт}$$

Годовой расход электроэнергии при работе электродвигателя с номинальной частотой вращения:

$$W_{\phi} = P_{ном} T_p k_{и}, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где T_p – количество часов работы вентилятора в году, ч; $k_{и}$ – коэффициент использования.

Годовой расход электроэнергии электродвигателей вентиляторов при работе с ЧРЭП:

$$W_{пч} = P_{пч} T_p k_{и}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Годовая экономия электроэнергии при работе вентиляционных установок с ЧРЭП по сравнению с обычным электроприводом:

$$\Delta W = W_{\phi} - W_{пч}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E} = \Delta W C, \text{ т. руб.},$$

где C – стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч.

Капиталовложение в мероприятие:

$$K = 1,12 C_{обор}, \text{ т. руб.},$$

где $C_{обор}$ – стоимость оборудования, т. руб.

Срок окупаемости: $S_o = K/\mathcal{E}$, год

Результаты расчета эффективности при внедрении ЧРЭП для электроприводов вентиляторов приведены в табл.2.

Таблица 2 - Расчет эффективности при внедрении ЧРЭП на вентиляторах

Наименование вентилятора	P_{ϕ} , кВт	$P_{пч}$, кВт	W_{ϕ} , кВт·ч	$W_{пч}$, кВт·ч	ΔW , кВт·ч	\mathcal{E} , т.руб	$C_{обор}$, т.руб	K , т.руб	S_o , год
Приточно-вытяжной	35	9.6	178500	48960	129540	62309	16352	18315	0,3
Вентилятор охлаждения оборотной воды на градирне	30	15	91000	45500	45500	21800	23705	14230	0,65

Таким образом, проведенные расчеты показали, что применение частотно-регулируемого привода на насосах и вентиляторах промышленных предприятий приводит к значительной экономии электроэнергии при небольшом сроке окупаемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий / Комитет по энергоэффективности при СМ РБ. Минск: Учебн.-выставоч. и издат. центр УП «Белэнергосбережение», 2003. – 60 с.

И.Г. Сухорукова, ассистент,
Д.А. Гринюк, канд. техн. наук,
И.О. Оробей, канд. техн. наук;
(БГТУ, г. Минск)

ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ АНАЛИЗА ГЕРМЕТИЧНОСТИ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

В комплексе разнообразных испытаний изделий, от приемосдаточных до контрольно-выборочных, проводимых для обеспечения качества создаваемой продукции, не последнее место занимают технологические испытания на герметичность. В большинстве отраслей машино- и приборостроения трудоемкость этих испытаний достигает 15...25% общей трудоемкости изготовления изделий. Повышение требований к точности оценки герметичности диктуется энергетическими, экологическими, социальными и технологическими аспектами современных производств. У ведущих производителей запорной арматуры появились изделия с технологией «noleak», т.е. без протечек. Как следствие, происходит постоянное развитие методов и устройств испытания изделий на герметичность, регистрируются патенты, защищаются диссертаций [1].

Существует около 30 различных методов испытаний на герметичность [1, 2-3]. При этом многие методы могут быть реализованы разными способами, различающимися схемой проведения, используемыми техническими средствами и технологией проведения испытаний. Испытание на герметичность является завершающим этапом изготовления всех сборочных единиц и деталей, к которым предъявляются требования по герметичности. Методы испытаний должны иметь определенный комплекс свойств.

На сегодняшний день требования к герметичности изделий постоянно опережают возможности методов. На 1990 год чувствительность физико-химических и химических методов находилась на уровне 10^{-9} Вт, к 2000 году она возросла до 10^{-12} Вт.

Важным свойством методов испытаний на герметичность является устойчивость к помехам, удобство использования и исключение влияния человеческого фактора

Механизация и автоматизация процессов испытания, автоматическая электронная регистрация полученных данных, маркировка – наиболее эффективный путь сокращения трудовых и материальных затрат.

Нормы герметичности выражаются через поток Q контрольной среды через течь, создающий в объеме V изделия в 1 м^3 падение или повышение P в 1 Па за время τ в 1 с [4]:

$$Q = \frac{PV}{\tau}, \text{ Вт (м}^3 \cdot \text{Па/с)}$$

Требования по герметичности (по допустимым утечкам) различных изделий, встречающихся в машиностроении, существенно различаются от $1,3$ до $1,3 \cdot 10^{-16} \text{ Вт}$.

Масс-спектрометры и методика накопления утечек дают максимальную чувствительность и, кроме того, используются для поиска технологических макродефектов конструкции. Вместе с тем существуют многочисленные методы контроля герметичности, основанные на различных принципах работы и обладающие иными характеристиками. В целом, использование газо- и гидроаналитических методов характерно для анализа элементов пищевых продуктов, космических и летательных аппаратов. Применение их для анализа запорной арматуры будет обосновано лишь в случае высоких требований по герметичности, проверки оборудования технологии «noleak», которые выходят за рамки ГОСТ 9544–2005.

Выше названные причины и обуславливают интерес к развитию и автоматизации манометрического и объемного (пузырькового) методов путем применения различных подходов, которые позволяют увеличить чувствительность этих методов за счет использования дифференциальных схем, активного воздействия на измерительную систему в процессе измерения [2-3]. Выбор этих методов для оценки герметичности запорной арматуры в первую очередь обусловлен разнообразием типоразмеров элементов арматуры, требованиями к чувствительности, а также культурой производства. Объемный метод обладает более высокой чувствительностью, но требует больше механических операций при его использовании. В случае анализа герметичности арматуры непосредственно на технологическом оборудовании он является безальтернативным.

При большом потоке разнообразия запорной арматуры с практической точки зрения удобным является размещение средств фиксации протечек в линии высокого давления (рис. 1). Здесь сталкиваются с тем, что давления испытания на несколько порядков выше спада давления в результате протечек. Для повышения точности и чувствительны использую специальные методы анализа трендов и алгоритмы измерения.

Существенный вклад в чувствительность метода вносит теплотехнические процессы, которые происходят в процессе подъема дав-

ления, а также неопределенность с объемом полостей находящихся под давления испытания. Для устранения влияния флуктуаций температуры применяют дифференциальную схему, суть которой в установке в линии между источником давления и арматурой клапана и датчика дифференциального давления на нем (рис. 2).

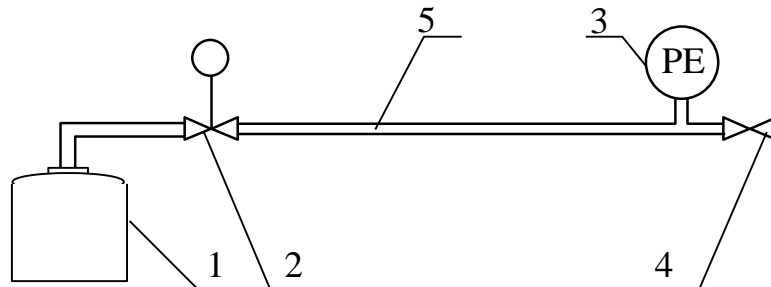


Рисунок 1 - Схема измерения протечек по давлению. 1 – источник давления; 2 – регулятор задающего давления; 3 – преобразователь давления; 4 – тестируемый вентиль (задвижка); 5 – тестируемый объем

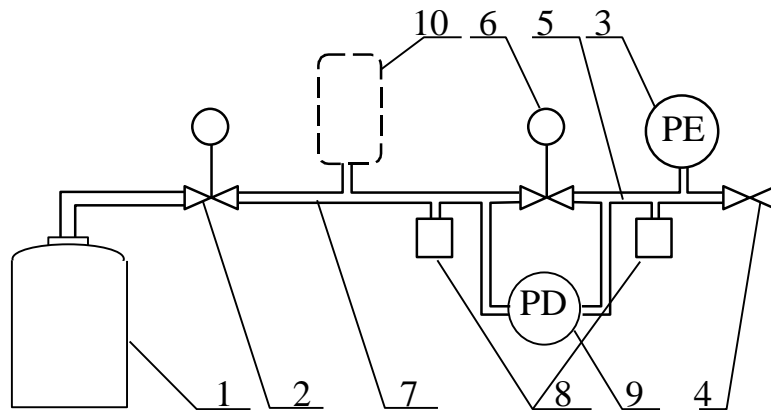


Рисунок 2 - Модификация схема измерения протечек по давлению. 1 – источник давления; 2 – регулятор задающего давления; 3 – преобразователь давления; 4 – тестируемый вентиль (задвижка); 5 – основной тестируемый объем; 6 – дополнительный клапан управления; 7 – дополнительный объем; 8 – источники синхронного воздействия на объемы; 9 – измеритель перепада давления; 10 – дополнительный объем

Динамическое управление клапаном 6 в процессе испытания вместе с дифференциальной датчиком перепада давления получить существенный выигрыш в чувствительности по сравнению с использованием анализа тренда датчика избыточного давления. Перепад давления на клапане 6 в случае протечек будет небольшим, как следствие, его чувствительность будет значительно больше чем в случае оценки значения протечки по датчику давления 3.

Алгоритм работы установки предполагает набор необходимого тестируемого давления по датчику 3 при открытом клапане 6. После чего происходит закрытие клапана 2. С началом тестирования осуще-

ствляется закрытие клапана 6. В случае резкого увеличения перепада давления на некотором значении осуществляется уравнивание давлений и повторное закрытие клапана 6. Данная процедура может быть повторена несколько раз. Для уточнения величины протечки на неизвестный объем запорной арматуры, в начале одного тактов осуществить синхронное воздействие на объемы 5 и 7. Возникший перепад давления будет пропорционален отличию в объемах.

Поскольку объем между клапаном и источником воздуха может быть определен заранее с высокой точностью. В зависимости от размера тестируемой арматуры можно подобрать емкость 10 для обеспечения лучшей чувствительности.

В качестве воздействия может быть использовано механическое воздействия для изменения объемов полости, например, через прорезиненную мембрану. Данное решение, обладает возможностями варьирования алгоритмов движения для обеспечения высокой точности измерения.

Еще одним решением является использование теплого воздействия. Установка двух одинаковых электрических нагревателей до и после клапана, и формирование коротких импульсов тока небольшой мощности приведет небольшому изменению температуры в районе градуса, и одновременно, к возникновению перепада давления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухорукова И.Г. Анализ методов измерения герметичности конструкций для автоматического испытания запорной арматуры // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. — 2009. — Вып. XVII. — С. 125-129.

2. Leak rate measuring device: pat. 7331216 USA, G01M 3/20 (20060101)/ L. Gerdau, R. Rolff; R. Kilian; Assignee Inficon GmbH; № 10/558,164; Appl. 12.10.2004; Filed 19.01.2008 // <http://patft.uspto.gov/>

3. System and method for utility metering and leak detection: pat. 7412876 USA, IPC (20060101) G01M 3/02 (20060101) / L. Kates; Assignee Corona Del Mar; № 11/761760; Appl. 16.12.2007; Filed 19.08.2008 // <http://patft.uspto.gov/>

4. Арматура трубопроводная запорная. Классы и нормы герметичности затворов: ГОСТ 9544–2005. Введ. 04.01.08. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2008. – 14 с.

В. Л. Колесников, проф., д-р техн. наук
А. И. Бракович, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

WEB-СЕРВИС ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОПOTЕРЬ ПОМЕЩЕНИЯ

Введение. На сегодняшний день, для многих людей, ежемесячная оплата за отопление – это весомая часть расходов. Говоря об установке частной или автономной системы отопления, нельзя не коснуться так называемых предпроектных работ, таких как расчёт тепловых потерь здания, составление сметы, выбор оборудования, материалов и т. д.

Перед началом работ, специалисты в обязательном порядке проводят расчёт тепловых потерь объекта, в котором планируется установка автономной системы отопления. Это делается в первую очередь для того, чтобы учитывая полученные результаты тепловых потерь, выбирать материалы и оборудование для системы отопления. Это, впоследствии, отразится как на конечной температуре в помещении, так и на энергоресурсах, которые понадобятся затратить для достижения и поддержания комфортной температуры. В конечном итоге, эти расчеты выразятся во вполне ощутимый прирост коэффициента полезного действия котла и всей системы отопления. Для грамотного расчета теплоизоляции и подбора отопительной мощности необходимо иметь данные о потерях тепла.

Для решения обозначенной актуальной задачи расчета теплопотерь было решено использовать современные веб-технологии. Это должно обеспечить возможность доступа к разработанному программному обеспечению широкого круга специалистов, в т. ч. при помощи разработанных приложений. Очень часто на практике теплопотери дома принимаются из расчета средних около 100 Вт / кв.м. Для тех, кто считает деньги и планирует обустроить дом экономной системой отопления без лишних капиталовложений и с низким расходом топлива, такие расчеты не подойдут. Достаточно будет сказать, что теплопотери хорошо утепленного дома и неутепленного могут отличаться в 2 и более раз. Точные расчеты по СанПиН требуют большого расхода времени и специальных знаний. Поэтому рационально разрабатывать доступные компьютерные калькуляторы и осуществлять расчет теплопотерь непосредственно в интернете с использованием разработанного web-сервиса.

Основная часть. Отличительной особенностью разработанного web-сервиса является возможность подключения различных

клиентских приложений, формируемых предметными специалистами в соответствии со стоящими перед ними задачами.

На начальном этапе была построена схема взаимодействия веб-сервиса с пользователем посредством ряда клиентских приложений. Затем был разработан сам веб-сервис расчета теплопотерь. Для демонстрации его работы было создано простое клиентское приложение, обеспечивающее ввод значений исходных параметров и вывод результатов. С целью обеспечения возможности применения калькуляторов на этапе проектирования зданий был добавлен функционал формирования информационной сети и построения графических моделей для регулируемого диапазона значений параметров и уровней их варьирования.

В соответствии с поставленными перед веб-сервисом задачами была разработана диаграмма взаимодействия, описывающая варианты использования веб-сервиса пользователем при помощи различных клиентских приложений.

Веб-сервис позволяет пользователю выполнять расчеты тепловых потерь для конкретного здания по известным параметрам. При этом пользователь получает детальный расчет тепловых потерь по отдельным категориям и суммарные теплопотери, а также себестоимость отопления здания. Веб-сервис может использоваться при проектировании здания, когда исходные параметры для расчета могут принимать различные значения. Тогда при проектировании формируется информационная сеть для заданных диапазонов значений исходных параметров и указанного числа уровней варьирования данных значений.

В данном случае способность веб-сервиса рассчитывать себестоимость здания наряду с тепловыми потерями является особенно важной, т. к. предоставляет необходимые сведения для формирования бизнес-планов строительства здания.

Для обеспечения наглядности, в узлах информационной сети выполняется визуализация результатов при помощи веб-сервиса. Это позволяет выявлять общие закономерности во влиянии исходных параметров на тепловые потери и себестоимость.

В основу работы веб-сервиса теплопотерь легли математические модели, описанные в [1]. Расчет теплопотерь через стены из нескольких слоев реализован при помощи цикла с переданным числом итераций. Также в расчетах учитывается наличие воздушной прослойки. Далее проводятся расчеты теплопотерь через инфильтрацию. Данная операция является заключительной и по ее окончании выполняется вывод суммарных теплопотерь и

себестоимости. Таким образом, в результате работы программы веб-сервиса формируется ряд числовых значений теплопотерь по отдельным категориям. Интерфейс разработанного сервиса представлен на рисунке 1.

The screenshot shows a web application interface for calculating heat losses. It is organized into four main sections:

- Построение информационной сети теплопотерь (Building the information network of heat losses):** Contains a link to go to the calculation, a field for the number of fluctuation levels (set to 3), and input fields for outdoor and indoor temperatures.
- Окна (Windows):** Includes fields for window area (40-90), perimeter (30), frame coefficient (2), frame area (5), double glazing type (dropdown), thermal conductivity (2.3), and price (1).
- Стены (Walls):** Features a checkbox for air layer, wall area (60-120), material dropdown (Concrete), thermal conductivity (2.1), layer thickness (0.5), and price (1). A second layer is defined with material (Foam concrete), thermal conductivity (0.26), thickness (0.1), and price (10).
- Потолки (Ceilings):** Includes ceiling area (25), mansard type (dropdown), thermal conductivity (23), material dropdown (Reinforced concrete), thermal conductivity (2.04), layer thickness (0.1), and price (5). A second layer is defined with material (Gypsum board), thermal conductivity (0.21), thickness (0.1), and price (15).

Each section has 'Добавить слой' (Add layer) and 'Удалить слой' (Delete layer) buttons.

Рисунок 1 – Интерфейс веб-сервиса

В соответствии с общепринятым описанием информационной сети был создан алгоритм ее формирования для расчета теплопотерь в допустимых конфигурациях проектируемого здания. Основой данного алгоритма служат функции отправки асинхронного запроса к веб-сервису и обработки возвращаемых результатов (см. листинг 1).

```
function getResult() { //добавление аргументов:
    var args={ //внутренней и наружной температуры,
    "TemperatureOutside":$("#TemperatureOutside").val()*1+(experiment%Vars)*dTout,
    "TemperatureInside":$("#TemperatureInside").val()*1+Math.floor(experiment/Vars)*dTin,
    //наличия воздушной прослойки, площади стен и числа слоев
    "interlayer":$("#interlayer").is(':checked'),
    "WallSquare":$("#WallSquare").val()*1+((experiment+Math.floor(experiment/Vars))%Vars)*dSwall, "walls":walls    };
    //толщины, теплопроводности и цены слоев стен
    for(i=1;i<=walls;i++){
        var
        name1="WallLayer"+i+"_d",name2="WallLayer"+i+"_v",name3="WallLayer"+i+"_p";
        args[name1]=$("#WallLayer"+i+"_d").val();
        args[name2]=$("#WallLayer"+i+"_v").val();
        args[name3]=$("#WallLayer"+i+"_p").val();    } //площадь стеклопакета, периметр
    //стеклопакета, площадь рамы
    args["WindowSquare"]=$("#WindowSquare").val()*1+
    ((experiment+2*Math.floor(experiment/Vars))%Vars)*dSwin;
```

Листинг 1 – Фрагмент исходного кода функции отправки запроса к веб-сервису

Для обработки данной информации функция обработки ответа веб-сервиса разделяет полученную строку символов выводит полученные числа в соответствующие столбцы таблицы.

Затем выполняется проверка, является ли данный запрос последним в информационной сети. При необходимости выполняется отправка следующего запроса. После получения ответа от последнего запроса выводится панель настройки визуализации модели (см. рис. 2)



Рисунок 2 – Пример визуализации теплопотерь

Вывод. Разработан веб-сервис, который позволяет выполнять расчеты теплопотерь для конкретного здания или для планирования будущего здания. Разработанный веб-сервис отличается от существующих аналогов возможностью выполнения расчетов для современных технологий планирования, проектирования и строительства. Также важным преимуществом является возможность визуализации построенной при планировании информационной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях: ГОСТ 30494–96. – Введ.: 01.03.99. – Минск: Межгос. комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1999. – 23с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ТЕОРЕТИКО-ГРАФОВЫХ ПОСТРОЕНИЙ

Одна из наиболее актуальных проблем современности заключается в экономии энергетических ресурсов как в промышленных процессах так и в быту. Непрерывно растущие затраты на производство энергии и связанные с этим глобальные экологические проблемы требуют разработки энергосберегающих технологий, основанных на современных достижениях науки.

Эффективное средство в решении указанной проблемы заключается в оптимизации используемых энергетических структур и их параметров с целью минимизации капитальных и эксплуатационных затрат при соответствующих технических и ресурсных ограничениях.

При решении оптимизационных задач удобно пользоваться методом, основанным на теоретико-графовых построениях [1, 2]. Заметим, что теория графов относится к разделу прикладной математики и с ее помощью успешно решаются задачи во многих областях: электротехники, энергетики, транспорта, энергоэкономики и др. Преимущество использования метода теоретико-графовых построений заключается в том, что он удобен при выполнении исследования значительного количества вариантов и позволяет определить тот, который в наибольшей степени соответствует критерию оптимизации.

Оптимизация любой энергосберегающей системы означает вариации структуры и параметров с целью минимизации капитальных и эксплуатационных затрат при соответствующих технических и ресурсных ограничениях, обеспечение защиты окружающей среды, доступность материалов и создание условий эксплуатационной надежности и невысокой стоимости ремонта.

При исследовании сложных технических систем необходимо выполнить структуризацию объекта как системы взаимосвязанных элементов с учетом собственных им специфических характеристик и процессов, привести перечень анализируемых проблем и возможной динамики развития отдельных элементов системы.

Понятие эксергии как максимальной работоспособности удобно использовать при рассмотрении степени совершенства различных процессов с точки зрения превращения энергии [3, 4].

Любую энергетическую систему можно представить как упорядоченную совокупность физических компонентов, объединенных между собой точками (полюсами) связи. Каждому простому физическо-

му компоненту соответствует некоторая ветвь графа, называемая полюсным графом этого физического компонента.

Граф можно представить при помощи матриц. Матричное представление графов позволяет отобразить структурные особенности графов.

Граф можно отобразить при помощи следующих матриц: матрицы ветвей [L], матрицы смежности [H], матрицы циклов [M], матрицы отсечений [N], цикломатической матрицы [C], матрицы инцидентий [S]. Для решения задач анализа и синтеза энергосберегающих систем наибольший интерес представляет матрица инцидентий.

Пусть имеется орграф $G(V,E)$, состоящий из $v=|V|$ вершин и $e=|E|$ дуг. Матрица инцидентий $|S|$ орграфа $G(V,E)$ – это матрица порядка $(v \times e)$, строки которой соответствуют вершинам, а столбцы – ребрам графа с элементами. Изложенный метод используем для оптимизации трубчатого теплообменного аппарата (рис. 1)

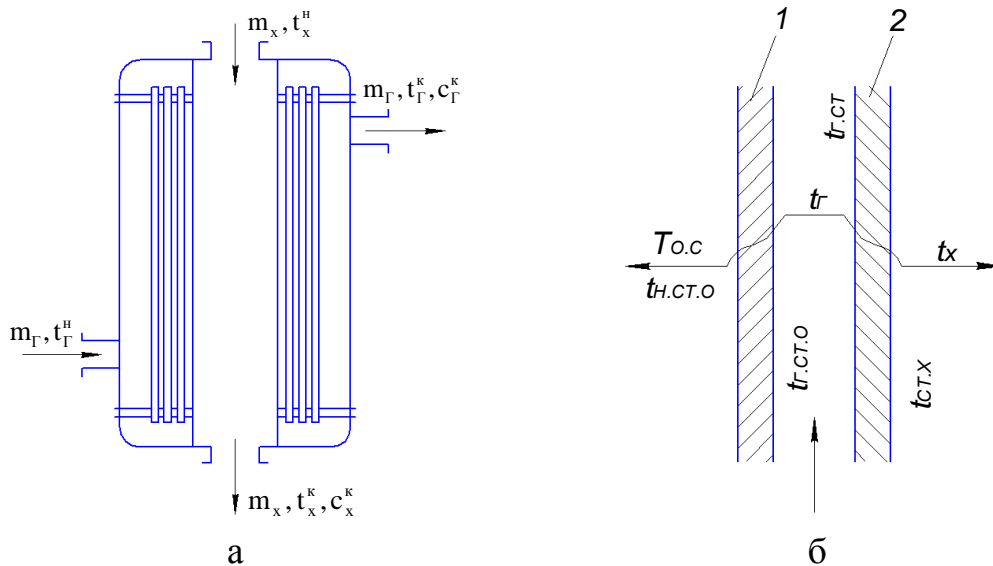


Рисунок 1 - Кожухотрубный ТА: а – общий вид теплообменника; б – элемент теплообменника с изображением схемы теплообмена

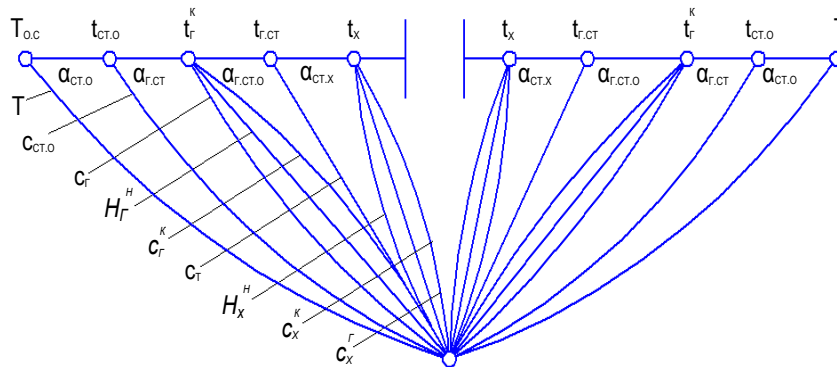


Рисунок 2. Структурный граф процесса теплообмена в ТА

Оптимизация изучаемой системы – это определение наилучших из всех возможных вариантов системы относительно выбранного критерия ее эффективности. Комплексная, системная оптимизация имеет целью выбор таких значений параметров системы (технологических, конструктивных и пр.), которые обеспечивали бы оптимальные или близкие к оптимальному значения критерия эффективности

$$Z_{opt} = \underset{x_j \in R^n}{\text{extr}} \{Z(x_j)\}, \quad (1)$$

при ограничениях

$$f_i(x_j) > 0, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (2)$$

$$q_k(x_j) > 0, \quad k = 1, 2, \dots, L, \quad (3)$$

где R^n n - мерное действительное векторное пространство.

Нетрудно видеть, что сформулированное условие оптимизации представляет собой многоэкстремальную большеразмерную задачу дискретного нелинейного программирования, усложненную ограничениями (2) и (3).

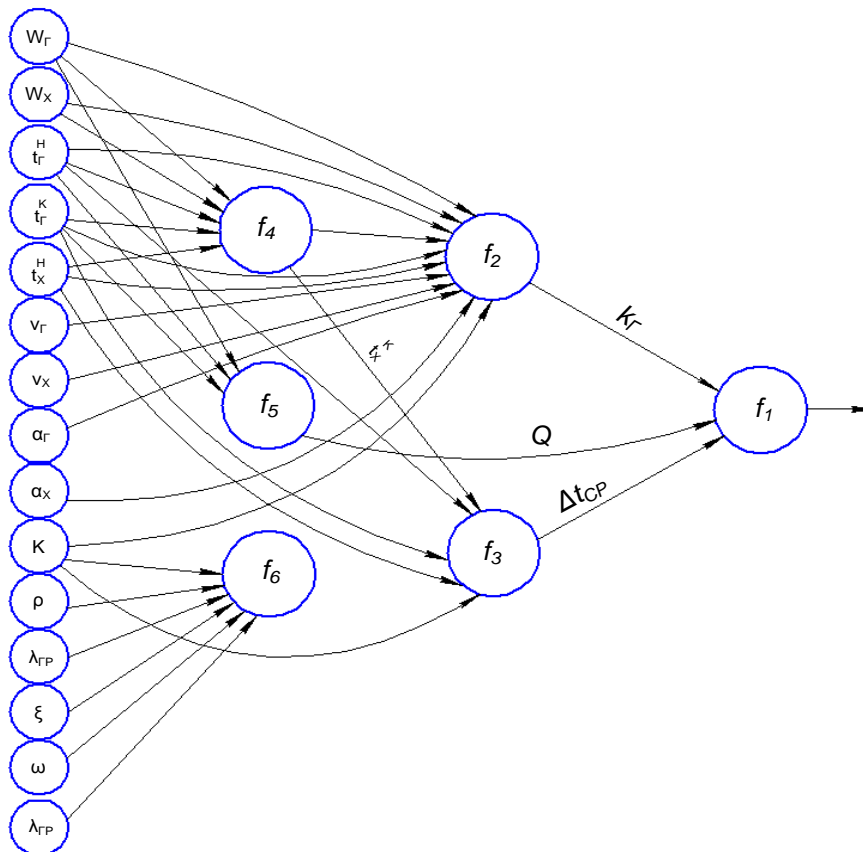


Рисунок 3. Информационный граф системы уравнений математической модели ГА

Этот метод, опираясь на хорошо разработанный математический аппарат теории графов, позволяют анализировать и получать оп-

тимальные компоновки системы достаточно просто, не уступая при этом по строгости математического подхода и общности полученных результатов другим математическим моделям и методам.

Ниже приведен алгоритм эксергетического и термоэкономического анализа энергетических систем.

Алгоритм $АП_{\Sigma}$ – определение потерь эксергии в энергетической системе. Алгоритм состоит из следующих основных шагов:

I. Построить соответствующий данной системе эксергетический потоковый граф $E = (A, U)$, матрицу инциденций $\|M_{ij}\|$ и рассчитать эксергии потоков по дугам $E_j, j = 1, 2, \dots, n$.

II. Для всех элементов $i = 1, 2, \dots, m$ определить входящие ($M_{ij} = 1$) и выходящие ($M_{ij} = -1$) потоки, рассчитать суммы E_j^{BX} и E_j^{BYX} потоков эксергии l -х элементов и степени их термодинамического совершенства.

III. Рассчитать суммарные потери эксергии

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m P_i \quad (4)$$

Понятно, что величина E_{Σ}^{BX} представляет собой сумму таких потоков E_j , которым в матрице инциденций отвечают столбцы, не содержащие -1 , т.е. эти потоки не выходят ни из одного элемента рассматриваемой системы, а являются только входящими для нее или, что то же, столбец содержит только $+1$ [6].

В основу анализа теплообменных систем следует положить математическую модель протекающих в них физических процессов. Это позволяет связать характеристики входных параметров теплообменного аппарата (например, значения температуры входного технологического потока) с параметрами выходного потока и характеристиками состояния теплообменников с учетом технологических связей между ними.

Рассмотрим кожухотрубный, одноходовой теплообменник с коридорным расположением труб (рис. 1). Приведенные ниже положения в принципе применимы для теплообменников с шахтным расположением труб, а также для пластинчатых теплообменников. Указанные на схеме параметры процесса в дальнейшем повторяются. Структурный граф процесса теплообмена в та представлен на рис. 2.

Применим такие обозначения: m_g, m_x – массовые расходы горячего и холодного потоков; t_g^H, t_x^H – начальные температуры горя-

чего и холодного потоков; t_{Γ}^{K} , t_{X}^{K} – конечные температуры горячего и холодного потоков; $T_{o.c.}$ – температура окружающей среды; c_{Γ}^{K} , c_{X}^{K} – удельные теплоемкости горячего и холодного потоков на выходе из ТА; $t_{\text{н.ст.о}}$ – температура наружной поверхности стенки со стороны окружающего воздуха; $t_{\Gamma.\text{ст.}}$ – температура поверхности трубы со стороны горячего потока; $a_{\Gamma.\text{ст.}}$ – коэффициент теплообмена между горячим потоком и внутренней поверхностью кожуха; $a_{\text{ст.т}}$ – коэффициент теплообмена между внутренней стенкой трубы и холодным потоком; $a_{\Gamma.\text{ст.о}}$ – коэффициент теплообмена между горячим потоком и внешней стенкой трубы; $a_{\text{ст.о}}$ – коэффициент теплообмена между внешней стенкой и внешней окружающей средой; $c_{\text{ст.о}}$ – теплоемкость внешней стенки (кожуха); c_{Γ}^{K} – теплоемкость горячего потока на выходе из аппарата; c_{X}^{K} – теплоемкость холодного потока на выходе; c_{Γ} , c_{X} – теплоемкость горячего и холодного потоков на входе; H_{Γ}^{H} , H_{X}^{H} – энтальпии горячего и холодного потоков на входе в ТА.

Отметим, что значения T_0 и H_0 , относящиеся к окружающей среде, считаются известными.

В структурном графе процесса теплообмена узловая точка О соответствует базовой точке измерения температуры (0°C). Прежде чем представить полюсные уравнения в матричной форме, изложим исходные предпосылки.

В теплообменнике в каждом ряду имеется i труб; количество рядов j . Примем, что по мере перемещения горячего потока от входного к выходному сечению коэффициенты теплообмена со стороны наружной поверхности труб $a_{\Gamma.\text{ст.о}}$ и стороны внутренней поверхности труб $a_{\text{ст.т}}$ не изменяются. В тех случаях, когда в процессе теплообмена имеет место изменение агрегатного состояния одного из потоков, также принимается, что коэффициенты теплообмена $a_{\Gamma.\text{ст.о}}$ и $a_{\text{ст.т}}$ имеют постоянное значение во всем объеме теплообменника. Их можно обозначить $a_{\Gamma.\text{ст.о}}^{\text{эф}}$ и $a_{\text{ст.т}}^{\text{эф}}$ они обеспечивают те же условия теплообмена, что и их переменные значения.

Кроме того, не будем учитывать термическое сопротивление стенки трубы вследствие его малого значения по сравнению с термическим сопротивлением со стороны процессов конвективного теплообмена.

Полюсные уравнения составляющих процесса теплообмена в матричной форме имеют вид:

Для эксергетической оценки теплообменного аппарата определим его эксергетический КПД:

$$\eta_{ex} = \frac{E_{6blx}}{E_{ex}} = \frac{E_{ex} - E_{\Pi}}{E_{ex}}, \quad (5)$$

где E_{ex} – подведенная к теплообменнику эксергия; E_{6blx} – эксергия, отведенная от ТА; E_{Π} – потери эксергии в аппарате.

Потери эксергии в теплообменном аппарате обусловлены необратимым теплообменом из-за конечной разности температур E_T ; гидравлическим сопротивлением при течении теплоносителей E_{ρ} , потерями теплоты в окружающую среду E_c , т. е.

$$E_{\Pi} = E_T + E_{\rho} + E_c.$$

Примем индекс "о" для охлаждаемого потока теплоносителя и индекс "н" для нагреваемого потока.

Общие потери эксергии при теплообмене из-за конечной разности температур между теплоносителями

$$E_T = E_q^o - E_q^H = Q\Delta\bar{\tau}_e, \quad (6)$$

где E_q^o, E_q^H – эксергии соответствующих потоков; Q – тепловая нагрузка теплообменника; $\Delta\bar{\tau}_e$ – средняя разность эксергетических температурных функций потоков "о" и "н" при охлаждении первого потока и нагреве второго.

Эксергетическая температурная функция

$$\bar{\tau}_e = 1 - T_{o.c}/T,$$

$$E_q^H = \Delta\bar{\tau}_e. \quad (7)$$

Потери эксергии от конечной разности температур при теплообмене будут равны

$$E_T = Q[(1 - T_{o.c}/T_H) - (1 - T_{o.c}/T_o)] = QT_{o.c}((T_H - T_o)/T_H T_o). \quad (8)$$

Пользуясь понятием водяного эквивалента $W = m_r c_r \approx m_x c_x$, получим

$$E_T = T_{o.c} W \ln \frac{T_x^K T_{\Gamma}^K}{T_x^H T_{\Gamma}^H}. \quad (9)$$

Эксергетический КТД теплообмена ($E_{\rho} = E_{o.c} = 0$):

$$\eta_{ex} = E_q^o / E_q^H = Q\tau_e^o / Q\tau_e^H = \tau_e^o / \tau_e^H = \Delta E_{o.c} / \Delta E_H, \quad (10)$$

где $\Delta E_{o.c}, \Delta E_H$ – изменение эксергии охлаждаемого и нагреваемого потоков.

Потери эксергии от гидравлического сопротивления в ТА определяются соотношением:

$$E_p = T_{o.c} R \ln \frac{p_{\text{ВЫХ}} + \Delta p}{p_{\text{ВЫХ}}}, \quad (11)$$

где $\Delta p = p_{\text{ВХ}} - p_{\text{ВЫХ}}$ – падение давления в системе.

При $\Delta p / p_{\text{ВЫХ}} \ll 1$ потеря эксергии от гидравлического сопротивления

$$E_p = mRT_{o.c} \Delta p / p_{\text{ВЫХ}}. \quad (12)$$

Потери эксергии от теплообмена с окружающей средой

$$E_s = Q \Delta \bar{\tau}_e = E_{qo.c}^o + E_{qo.c}^H = m_H Q_H \left[1 - \frac{T_{o.c}}{T_{H.o}} \right] + m_o Q_o \left[1 - \frac{T_{o.c}}{T_{o.o}} \right], \quad (13)$$

где $T_{H.o}$ – средняя температура наружной поверхности ТА со стороны H ; $T_{o.c}$ – средняя температура наружной поверхности ТА со стороны охлажденного потока.

Потери эксергии от теплообмена с окружающей средой E_s могут быть определены с использованием значений энтальпии потоков

$$E_s = m_H c_H (t_{H.o} - t_{o.c}) + m_o c_o (t_{o.o} - t_{o.c}),$$

где c_H и c_o – теплоемкости соответствующих потоков.

В результате можно записать выражение для эксергетического КПД теплообменного аппарата:

$$\eta_{ex} = \frac{E_{\text{ВХ}} - E_T - E_p - E_s}{E_{\text{ВХ}}} =$$

$$= 1 - \frac{T_{o.c} \left[m_r R \Gamma \frac{\Delta p_\Gamma}{p_{\Gamma.\text{ВЫХ}}} + m_x R_x \frac{\Delta p_x}{p_{x.\text{В.В}}} + m_r c_\Gamma \ln \frac{T_\Gamma^K}{T_\Gamma^H} + m_x c_x \ln \frac{T_x^K}{T_x^H} \right] - Q \Delta \bar{\tau}_{es}}{Q \frac{T_\Gamma^H - T_{o.c}}{T_\Gamma^H}}$$

, (14)

где $\Delta \bar{\tau}_{es}$ – средняя эксергетическая температура изоляции ТА.

С изменением структуры установки или значения исходных параметров определяют оптимальный вариант по энергетическим показателям.

Заключение

Оптимизация любой энергетической системы означает поиск схемного решения (в первую очередь, модификацию структуры) и соответствующих параметров с целью минимизации энергозатрат с учетом существующих ограничений и требований в области использования энергии (защита окружающей среды, безотказность и стабиль-

ность действий, надежность управления режимом работы в процессе эксплуатации).

Эксергетическая система имеет определенную технологическую структуру, т.е. состоит из ряда взаимосвязанных элементов, характеризуется заданными параметрами, взаимодействует с окружающей средой.

Метод теоретико-графовых построений имеет то преимущество, что исследуемые структуры представлены в наглядной форме и удобно выбрать возможные варианты решения. Разработаны алгоритмы решения подобных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харари Ф. Теория графов. – М.: Мир, 1973. – 300 с.
2. Драганов Б.Х., Гулко Т.В. Оптимизация методами теории графов систем теплоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии // Вестн. Челябин. агроинж. ун-та. – 2000. – 31. – С. 62-66.
3. Эсергетические расчеты технических систем. Справ.пос. / Под ред. А.А. Долинского, В.М. Бродянского. – Киев: Наук.думка, 1991. – 360 с.
4. Кафаров В., Мешалкин В. Анализ и синтез химико-технологических систем. – М.: Химия, 1991.

УДК 620.22-033

Клопоцкий А.А., Прокопья О.Н., Олех А.Г.
(БрГТУ, г. Брест)

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В КАМЕРАХ ТЕПЛО- ВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ

Кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Брестского государственного технического университета разработан комплекс программных и технических средств для управления участком камер тепловлажностной обработки Брестского завода железобетонных конструкций и строительных деталей, который был внедрен на данном предприятии. Каждая из 16 камер была оборудована автономным регулятором температуры на базе программируемого контроллера «ОВЕН» ПЛК-150.

Далее программные регуляторы температуры в камерах были подключены к управляющему компьютеру посредством интерфейса Ethernet. Для управления участком камер на базе Delphi была разработана управляющая программа. Таким образом, была создана двухуровневая система управления участком камер. Нижний уровень

управления включает в себя локальные регуляторы температуры в каждой из камер. Верхний уровень управления обеспечивает мониторинг и общее управление работой участка с рабочего места оператора. Это дает возможность задавать параметры цикла обработки для каждого типоразмера обрабатываемых изделий, а также корректировать настройку регуляторов. Данная система эксплуатируется на предприятии с 2009 года по настоящее время. За этот период было выполнено детальное исследование работы регуляторов методами математического моделирования с проверкой результатов непосредственно на действующей системе. Разработана уточненная математическая модель системы регулирования температуры в приложении Simulink среды программирования MATLAB, которая приведена на рисунке 1.

С использованием математической модели выполнен анализ качества регулирования при использовании различных типов регуляторов. Было установлено, что наилучшее качество обеспечивается при использовании ПД-регулятора. Результаты моделирования процесса линейного подъема температуры со скоростью $40\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ представлены на рисунке 2. Осциллограмма содержит кривые изменения реальной и заданной температуры в камере, а также степени открытия клапана подачи пара.

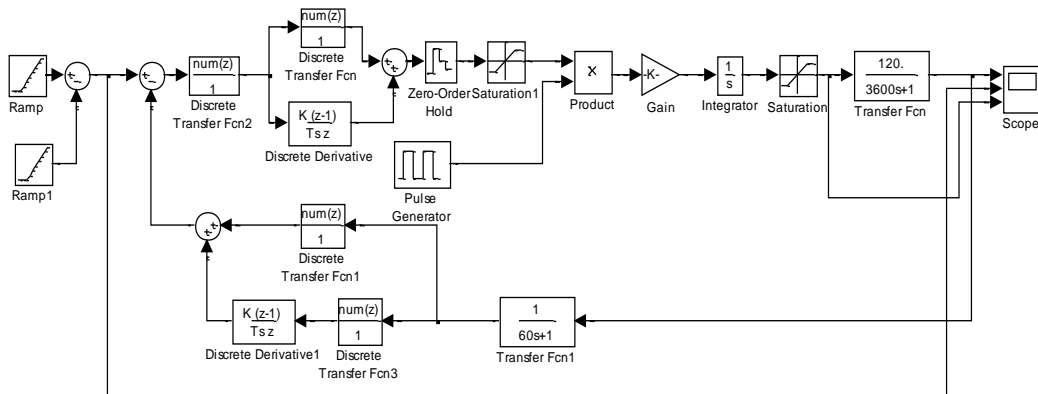


Рисунок 1 – Математическая модель системы регулирования температуры

Из рисунка следует, что обработка заданного закона изменения температуры производится с высокой точностью. Наибольшее отклонение температуры от заданной не превышает $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это обусловлено практически нулевым перерегулированием в системе.

Результаты моделирования позволили подобрать настройки регуляторов для каждой камеры с учетом ее характеристик, которые обеспечивали требуемую точность изменения температуры на всех режимах работы. На рисунке 3 показан внешний вид рабочего окна управляющей программы компьютера. Программа позволяет выво-

дить на экран заданный закон изменения температуры и ее реальное изменение за время выполнения рабочего цикла выбранной камеры. Данный рисунок также подтверждает достаточно хорошее совпадение указанных кривых.

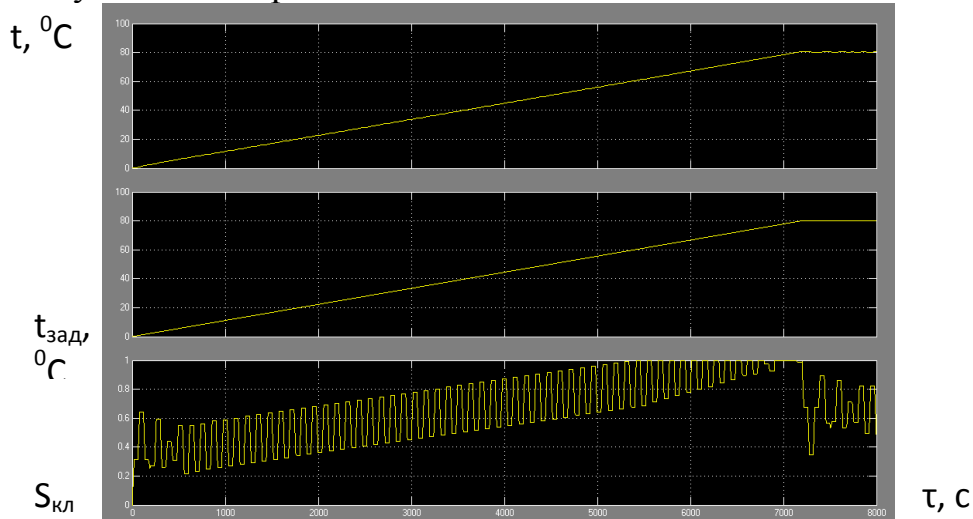


Рисунок 2 – Моделирование процесса регулирования температуры

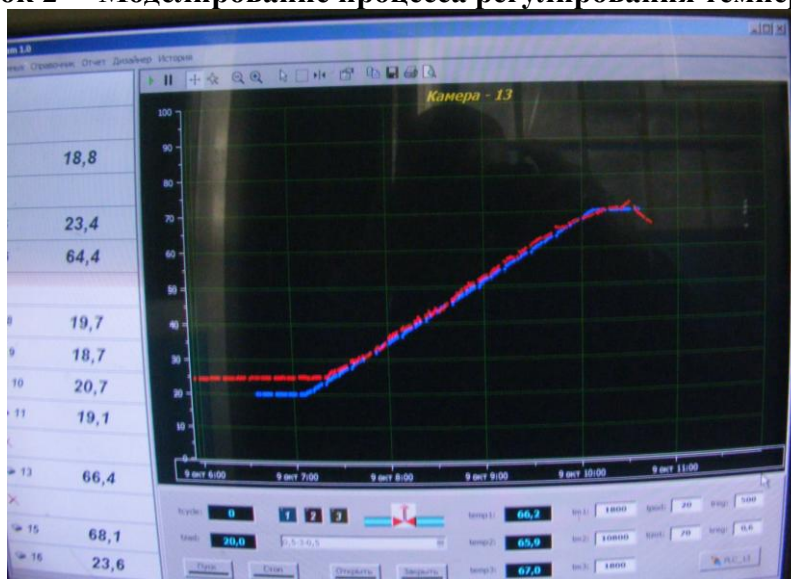


Рисунок 3 – Рабочее окно управляющей программы.

Таким образом, разработанная система автоматизации по своим характеристикам и технико-экономическим показателям не уступает известным аналогам. При ее создании накоплен значительный опыт, который может быть востребован при автоматизации аналогичных объектов. Принятая архитектура системы позволяет легко адаптировать ее к объектам с различным числом и различными характеристиками камер.

В. И. Романовский, ассистент, к-ттехн. наук
В. В. Лихавицкий, ассистент,
(БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Одним из источников загрязнения природных вод органическими веществами являются недостаточно очищенные производственные сточные воды. Наиболее опасным для гидросферы загрязняющим веществом являются нефтепродукты, содержащиеся как в производственных сточных водах, так и поверхностном стоке. По составу присутствующих нефтепродуктов в сточных водах локомотивных депо они существенно отличаются от нефтесодержащих сточных вод других отраслей промышленности. Их особенностью является наличие компонентов дизельного топлива, моторных и трансмиссионных минеральных масел, топочного мазута, смазочно-охлаждающих жидкостей.

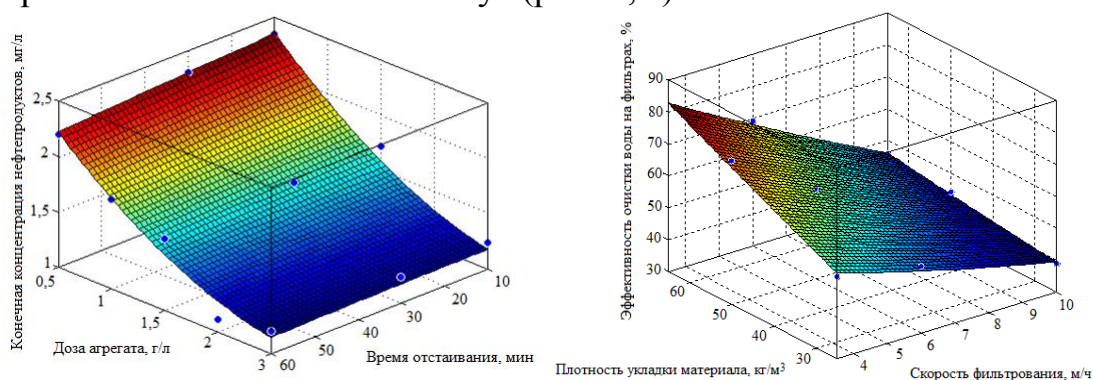
Таким образом, на сегодняшний день в локомотивных депо существует проблема низкой эффективности работы узла физико-химической очистки нефтесодержащих сточных вод. Наличие этой проблемы определяет актуальность исследований по поиску и внедрению в технологию очистки новых материалов, обладающих высокой активностью по отношению к извлекаемым нефтепродуктам и позволяющих повысить эффективность работы очистных сооружений в целом. Одновременно необходимо учитывать, что внедрение новой технологии может вызывать увеличение стоимости очистки воды, в связи с чем работа была направлена на поиск не только эффективных, но и экономически обоснованных решений. В этом случае при решении проблемы повышения эффективности очистки нефтесодержащих сточных вод локомотивных депо наиболее целесообразным является замена коагулянта (сульфата алюминия) и фильтрующей загрузки (древесных опилок) без изменения технологической схемы.

Представляет интерес использование коагулянтов, полученных из промышленных отходов, содержащих синтетические полимеры, значительное количество которых в настоящее время подвергается захоронению на полигонах промышленных и твердых коммунальных отходов. В качестве такого отхода в работе были взяты предварительно диспергированные отработанные ионообменные смолы [1, 2], в наибольшем количестве образующиеся на стадиях водоподготовки объектов теплоэнергетики. В последнее время в качестве фильтрую-

щих материалов, обеспечивающих эффективное извлечение нефтепродуктов, используют синтетические волокна, чаще на основе полипропилена. С учетом развития ресурсосберегающей политики для исследований были взяты обрезки нити полипропиленовой.

При проведении исследований с использованием агрегата, полученного путем смешения предварительно измельченных отходов отработанных ионообменных смол АВ-17-8 и КУ-2-8, взятых в соотношении 1:1, с фракцией менее 150 мкм [1, 2], образовавшихся хлопьев составляет 2–4 мм, гидравлическая крупность хлопьев 4–6 мм/с.

Начальная концентрация нефтепродуктов в исследуемой сточной воде составляла 10,1 мг/л. Агрегат вводили в обрабатываемую воду в сухом виде и в виде суспензии. Доза агрегата принята равной 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 3,0 г/л. Пробы воды для определения конечной концентрации нефтепродуктов отбиралась после 10, 30 и 60 минут отстаивания. Режиму удаления нефтепродуктов из сточных вод исследуемым агрегатом в лабораторных условиях, при котором обеспечивается эффективность очистки 88,5–89%, соответствует доза агрегата 2 г/л, время отстаивания 10–60 минут (рис. 1, а).



а – использование агрегата; б – использование обрезков нити полипропиленовой (при высоте загрузки 1,5 м)

Рисунок 1 - Эффективность очистки сточных вод от нефтепродуктов с использованием отходов синтетических материалов

Используемая в исследованиях лабораторная установка позволяла изучить процесс фильтрования при различных параметрах процесса: плотности загрузки, высоты загрузки, скорости фильтрования. Для определения эффективности применения обрезков нити полипропиленовой в качестве фильтрующего материала при извлечении нефтепродуктов из сточных вод исследования в лабораторных условиях проводили при плотности укладки материала 25, 50, 75 кг/м³, высоте укладки 0,16 м и скорости фильтрования 1, 2, 5 м/ч. На протяжении эксперимента через определенный интервал времени производили отбор проб для определения остаточных концентраций нефтепродуктов. Исследования проводили на производственных сточных водах локо-

мотивного депо Гомель, предварительно прошедших очистку в нефтеловушке.

С увеличением плотности укладки эффективность очистки сточных вод от нефтепродуктов повышается и достигает 87%. При каждой скорости фильтрования эффективность извлечения нефтепродуктов через некоторый промежуток времени устанавливается на определенном уровне (рис. 1, б).

При проведении эксперимента древесную стружку в фильтрах заменяли обрезками нити полипропиленовой и изменяли скорость фильтрования, плотность укладки материала, высоту фильтрующей загрузки. Начальная концентрация нефтепродуктов в сточной воде составляла 13,5–14,3 мг/л. На основании результатов исследований построены графические зависимости, отражающие эффективность извлечения нефтепродуктов (рис. 1, б).

Анализ графических зависимостей показал следующее: при увеличении высоты загрузки и плотности укладки материала эффективность очистки сточных вод от нефтепродуктов возрастает; с увеличением скорости фильтрования остаточное содержание нефтепродуктов возрастает; максимальной эффективности очистки сточных вод от нефтепродуктов на уровне 82% можно достичь при плотности укладки материала 65 кг/м^3 , скорости фильтрования 3,5 м/ч, высоте загрузки 1,5 м.

На основании полученных результатов выполнена статистическая обработка данных, получены величины коэффициентов корреляции между различными факторами и составлены уравнения регрессии, отражающие зависимость результирующего показателя «конечная концентрация» загрязняющих веществ (C_k) от начальной концентрации (C_n), скорости фильтрования (v_f), плотности укладки материала в кассету (ρ_v), высоты загрузки (H_3).

Корреляция между фактором «высота загрузки» и результирующим показателем «конечная концентрация» превышает 0,6, что говорит о существенной взаимосвязи между этими параметрами. При этом с увеличением высоты загрузки уменьшается конечная концентрация нефтепродуктов.

С увеличением плотности укладки материала уменьшается размер пор, что способствует задержанию более мелких частиц нефтепродуктов и снижению содержания нефтепродуктов в очищенной воде. С увеличением скорости фильтрования остаточное содержание нефтепродуктов повышается. Это объясняется тем, что с повышением скорости сокращается время контакта частиц нефтепродуктов с фильтрующим материалом, необходимое для их адгезии. Кроме того,

увеличивается энергия потока и повышается вероятность отрыва ранее задержанных нефтепродуктов с поверхности загрузки.

В результате статистической обработки данных для расчета конечной концентрации нефтепродуктов получено уравнение регрессии вида:

$$C_k = 13,4 - 3,8 \cdot H_z - 0,15 \cdot C_n - 0,05 \cdot \rho_y + 0,4 \cdot v_\phi. \quad (1)$$

Множественный коэффициент корреляции R равен 0,96, что свидетельствует о существенной связи всех факторов. Коэффициент детерминации уравнения равен 0,91, в связи с чем уравнение можно использовать для расчетов. В данном случае уравнение, коэффициенты уравнения и коэффициент детерминации являются статистически значимыми на уровне 95%.

Для подтверждения адекватности уравнения приведен расчет конечной концентрации нефтепродуктов при фильтровании сточной воды со скоростью 6 м/ч через слой обрезков нити полипропиленовой высотой 1,5 м, уложенных в кассету с плотностью 65 кг/м³ $C_k = 4,7$ мг/л. Фактическая концентрация нефтепродуктов в очищенной воде составляет 4,3 мг/л, т.е. полученное уравнение можно использовать для прогнозирования, так как величина расхождения находится в пределах погрешности измерения.

С учетом комплексного подхода к решению очистки сточных вод от нефтепродуктов было предложено использовать образующийся осадок при реагентной очистке с использованием агрегата из отработанных ионообменных смол, а также отработавшей фильтрующей загрузки в качестве выгорающей добавки при производстве поризованной строительной керамики. Опытно-промышленные испытания подтвердили эту возможность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романовский, В.И. Вододерживающие свойства агрегатов, полученных из отходов отработанных ионообменных смол / В.И. Романовский, В.Л. Грузинова // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2013. – №2. – С. 101–103. ISSN 1818-1112
2. Романовский, В.И. Поверхностные свойства агрегатов, полученных из отходов отработанных ионообменных смол / В.И. Романовский, В.Л. Грузинова // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2013. – №2. – С. 103–106. ISSN 1818-1112

МАКСИМИЗАЦИЯ КПД В НАСОСНЫХ СИСТЕМАХ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКЕ

В системах водоснабжения, водоотведения и вентиляции основным видом оборудования являются насосные и вентиляторные установки, а затраты на их энергоснабжение составляют более 50% от общего объёма потребляемой системой электроэнергии. Поэтому в условиях постоянного роста цен на энергоносители существенная экономия электроэнергии при эксплуатации систем водоснабжения может быть достигнута только при условии эффективного использования насосов.

В результате исследования возможных методов снижения энергозатрат при эксплуатации насосных систем, проведённого Гидравлическим институтом США и Европейской Ассоциацией Производителей Насосов, были получены такие данные:

замена насосов на современные, более эффективные модели снижает энергопотребление на 1-2%;

замена электродвигателей – на 1-3%;

подрезка и замена рабочих колёс – на 10-20%;

параллельная установка насосов для каскадного регулирования подачи – на 10-30%;

снижение частоты вращения – на 5-40%;

регулирование подачи с помощью частотного преобразователя (по сравнению с регулированием задвижками) – на 10-60%.

Таким образом, в качестве наиболее эффективных методов повышения КПД и снижения энергопотребления можно выделить установку частотных преобразователей (автоматически позволяет изменять частоту вращения) и параллельную установку насосов. Кроме того, в условиях изменяющейся нагрузки возможности частотного регулирования позволяет распределять нагрузку между насосами вплоть до отключения. При этом критерием управления насосами является общий КПД системы (при условии выполнения требований нагрузочной характеристики). Наиболее гибкая характеристика при использовании насосов или вентиляторов различной мощности, что при одинаковом перепаде давления (параллельное соединение) позволяет поддерживать оптимальное (максимальное) значение КПД.

Для управления насосами (частотными приводами насосов) необходимо использовать отдельное управляющее оборудование, в ка-

честве которого предполагается использование PLC. Алгоритм функционирования подразумевает контроль перепада давления и распределение нагрузки на насосы с точки зрения максимального КПД всей системы.

Данный подход в регулировании применим как к насосным системам, так и к системам вентиляции. Среди особенностей систем вентиляции с фиксированным диапазоном расходов можно выделить их конечное значение, что позволяет упростить систему управления ограничиваясь обработкой состояния включения местных источников (вытяжек) и формирования установившихся режимов, с плавной перестройкой. Данный подход позволяет удешевить систему управления, с единственным ограничением на использование частотных преобразователей со встроенным логическим блоком (как правило, встроенный PLC).

Такой подход к максимизации КПД может быть использован при управлении группой исполнительных устройств или механизмов, при наличии критерия оценки КПД. Примером такой системы могут служить системы управления котельными, в составе которых имеются несколько котлов с различными производительностями при переменной нагрузке.

УДК 519.978

Д. С. Карпович, канд. техн. наук; Н. В. Карпович, магистрант
(БГТУ, г. Минск)

С.Д. Латушкина, канд. техн. наук; О.И. Посылкина, науч. сотр.
(ФТИ НАН РБ, г. Минск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Аналитическое описание процесса теплопроводности включает в себя дифференциальное уравнение и условия однозначности.

Дифференциальное уравнение теплопроводности при отсутствии внутренних источников теплоты имеет вид:

$$\frac{dt}{d\tau} = a \left(\frac{d^2t}{dx^2} + \frac{d^2t}{dy^2} + \frac{d^2t}{dz^2} \right) \quad (1)$$

Условия однозначности задаются в виде:

физических параметров λ , c , ρ ;

формы и геометрических размеров объекта $l_0, l_1, l_2, \dots, l_n$;

температуры тела в начальный момент времени $\tau=0$.

$t=t_0=f(x,y,z)$.

Граничные условия могут быть заданы в виде:

$$t(\tau = 0) = t_{нач.}$$

$$t(x = x_{нач}) = t_1$$

$$t(x = x_{кон}) = t_2$$

Аналитические решения, полученные путём непосредственного интегрирования дифференциальных уравнений, дают возможность вычислить температуру в любой точке данной системы. В основу численного метода положено уравнение в форме конечных разностей. При этом получение точного аналитического решения связано с трудностью удовлетворения граничных условий, которые не всегда осуществимы, а при помощи численного метода всегда возможно, по крайней мере приближенно, удовлетворить граничным условиям конкретной задачи.

Получим расчётную формулу для численного интегрирования одномерной нестационарной задачи методом тепловых балансов. Пусть в этом случае процесс описывается уравнением:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Первым шагом численного метода расчёта является разбиение данной системы на соответствующее количество небольших объёмов и присвоение номера центральным точкам каждого из этих объёмов. Предполагается, что термические свойства каждого такого объёма сосредоточены в центральной узловой точке. Передача теплоты между узловыми точками осуществляется через условные теплопроводящие стержни.

Разбиваем стенку на элементарные объёмы $V = \delta \times \delta \times 1 = \delta^2$. Полагаем, что удельная теплоёмкость c и коэффициент теплопроводности λ в пределах элементарного участка постоянны. Очевидно, количество теплоты, подводимое стержнем к узловой точке, определится по закону Фурье: $q = -\lambda(dt/dx)$. Если расстояние δ достаточно мало, то можно выразить q через конечные разности, т.е. $q = -(\lambda/\delta)\Delta t$, где Δt – разность температур между смежными узловыми точками. Общее количество теплоты, проводимое стержнем за конечное приращение времени $\Delta\tau$, равно:

$$Q = q\Delta\tau F = -\frac{\lambda}{\delta}\Delta t\Delta\tau F \quad (3)$$

где для одномерной системы проводящая площадь $F = \delta \times 1$, м².

Изменение внутренней энергии в рассматриваемой узловой точке за время $\Delta\tau$

$$U = c\rho V\Delta t' = c\rho V(t' - t), \quad (4)$$

где t – температура в данной узловой точке в момент времени τ ; t' – температура в момент времени $\tau + \Delta\tau$; c – удельная теплоёмкость; ρ – плотность вещества; V – элементарный объём.

На основании сказанного уравнение теплового баланса для узловой точки будет иметь вид:

$$Q_{21} + Q_{31} = \frac{c\rho V}{\Delta t}(t'_1 - t_1) \quad \text{или} \quad \frac{\lambda}{\delta}(t_2 - t_1)\delta \cdot 1 + \frac{\lambda}{\delta}(t_2 - t_1)\delta \cdot 1 = \frac{c\rho V}{\Delta t}(t'_1 - t_1).$$

Решая последнее уравнение относительно неизвестной температуры t'_1 , получаем:

$$t'_1 = \frac{\Delta\tau\lambda}{c\rho V} \left(t_2 + t_3 + \frac{1}{\frac{\Delta\tau\lambda}{c\rho V}} - 2t_1 \right). \quad (5)$$

Если учесть, что $\lambda/c\rho = a$ – коэффициент температуропроводности вещества, $V = \delta^2$ и $\Delta\tau a / \delta^2 = Fo$ – число Фурье, то уравнение (5) принимает вид:

$$t'_1 = Fo \left[(t_2 + t_3 + t_1) \left(\frac{1}{Fo} - 2 \right) \right]. \quad (6)$$

Уравнение (6) является основой численного метода расчёта нестационарной теплопроводности. Для расчёта температуры t'_1 по (6) необходимо выбрать определённое значение Fo . При этом важно помнить, что выбор Fo ограничен условием

$$Fo \leq \frac{1}{2}. \quad (7)$$

Как показывает анализ, только при этом обеспечивается устойчивость уравнения (6). Если же принять $Fo > 1/2$, т.е. нарушить условие (7), то изменение температуры в процессе расчёта приобретает беспорядочный скачкообразный характер. Поэтому при выборе промежутков δ и $\Delta\tau$ необходимо заботиться о том, чтобы условие (7) выполнялось. Если выбрать δ и $\Delta\tau$ из условий $Fo = 1/2$, то уравнение (6) принимает вид:

$$t'_1 = \frac{t_2 + t_3}{2}. \quad (8)$$

Для случая, когда одна из поверхностей пластины изолирована и на ней не происходит теплообмена, а на другой коэффициент теплоотдачи $\alpha \rightarrow \infty$ уже при выборе $Fo = 1/4$ приближённый численный метод практически не отличается от точного расчёта. Пользуясь изложенным методом, можно получить исходное уравнение для численного расчёта и для других задач нестационарной теплопроводности.

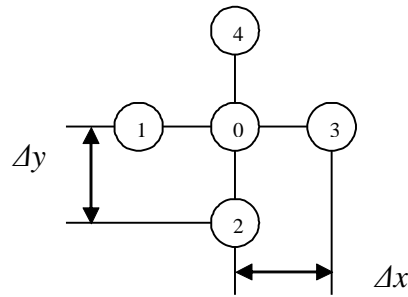


Рисунок 1 - Сетка для двумерной задачи.

Составляя уравнение теплового баланса для центральной точки, получаем:

$$t'_0 = Fo \left[t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_0 \left(\frac{1}{Fo} - 4 \right) \right] \quad (9)$$

где t_0, t_1, t_2, t_3, t_4 – температура в соответствующей узловой точке в момент времени τ ; t'_0 – температура в центральной точке в момент времени $\tau + \Delta\tau$.

Выражение для производной будет иметь вид:

$$t'_m \approx \frac{t_{m+1} - t_{m-1}}{2\delta_x} \quad (10)$$

Выражение для второй производной функции $t=f(x)$:

$$t''_m = \frac{1}{\delta_x} \left(\frac{t_{m+1} - t_m}{\delta_x} - \frac{t_m - t_{m-1}}{\delta_x} \right) = \frac{1}{\delta_x^2} (t_{m+1} + t_{m-1} - 2t_m) \quad (11)$$

Дифференциальное уравнение в конечно-разностной форме запишется следующим образом:

$$\frac{1}{\partial_\tau} (t_{m,k+1} - t_{m,k}) + \varepsilon_1 = \frac{a}{\delta_x^2} \left[\frac{t_{m+1,k} - 2t_{m,k} - t_{m-1,k}}{\partial_x^2} + \varepsilon_2 \right] \quad (12)$$

Решая уравнение (12) относительно будущей температуры $t_{m,k+1}$ в рассматриваемой точке, получаем:

$$t_{m,k+1} = \frac{a\delta_\tau}{\delta_x^2} [t_{m+1,k} + t_{m-1,k}] - \left(\frac{2a\delta_\tau}{\delta_x^2} - 1 \right) t_{m,k} + (a\varepsilon_2 - \varepsilon_1)\delta_\tau \quad (13)$$

Очевидно, остаточный член $(a\varepsilon_2 - \varepsilon_1)\delta_\tau$ в уравнении (13) будет стремиться к нулю при стремлении к нулю $\delta\tau$. Следовательно, чем более мелкие интервалы выбраны для сетки узловых точек, тем меньше ошибка перехода от дифференциального уравнения к разностному уравнению. Ошибки ε_1 и ε_2 можно оценить, воспользовавшись разложением функции t в ряд Тейлора.

Отбрасывая остаточный член в уравнении (13) и обозначая приближенное значение величины $t_{m,k}$ через $T_{m,k}$, получим приближенное решение для будущей температуры в узловой точке $(m\delta_x, k\delta_\tau)$:

$$T_{m,k+1} = \frac{a\delta_\tau}{\delta_x^2} (T_{m+1,k} + T_{m-1,k}) - \left(\frac{2a\delta_\tau}{\delta_x^2} - 1 \right) T_{m,k} \quad (14)$$

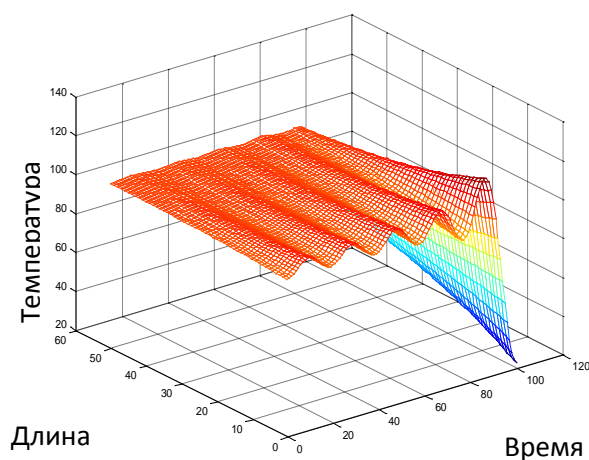


Рисунок 2 - Поле распределения температуры при $n=10$

Уравнение (14) позволяет в численном виде получить значение температуры в узловых точках. Пример решения уравнения теплопроводности, полученный с использованием формулы (14), представлен на рис. 2.

УДК 621

Д. С. Карпович, канд. техн. наук

В.Б. Михайлов, доц., канд. физ-мат. наук;
(БГТУ, г. Минск)

Кишкурно В.В., зам. гл. инж. ОАО «СЦКК»
(ОАО «СЦКК», г. Светлогорск)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВАРКИ В УСЛОВИЯХ ОАО «СВЕТЛОГОРСКИЙ ЦКК»

В настоящее время на ОАО «Светлогорский целлюлозно-бумажный комбинат» проводится комплексная модернизация технологического процесса, направленная на повышение технического уровня основного технологического оборудования, использование энергосберегающих и экологических технологий.

Строящийся завод по производству сульфатной беленой целлюлозы мощностью 400 тысяч тонн в год будет использовать в качестве сырья древесину хвойных пород (75%), древесину лиственных пород (25%) и производить следующую продукцию:

- листовую беленую целлюлозу из хвойных пород 300 тысяч тонн в год,
- целлюлозу из лиственных пород 100 тысяч тонн в год.

Завод включает в себя следующий комплект оборудования и материалов:

- площадка-склад сырья и ДПЦ;
- цех для производства беленой сульфатной целлюлозы;
- цех для производства товарной листовой целлюлозы;
- объекты электростанции собственных нужд;
- компрессорная и кислородная станция;
- система водоснабжения и водоотведения;
- станция очистки стоков;
- цех вторичного использования химикатов;
- вспомогательные объекты (вентиляция, пылеулавливание и кондиционеры и т.д.);
- техника автоматизации, привода, системы управления (DCS и QCS, система оптимального управления и управления информацией комбината, цифровые камеры, видеоконтроль, приборы, объекты системы связи).

В настоящее время разработана комплексная АСУП, предназначенная для автоматизации принятия управленческих решений на всех уровнях: от локального регулирования отдельных технологических параметров до MES/ERP-уровней: для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства, непрерывной балансировки и оптимизацию ресурсов предприятия посредством специализированной интегрированной системы, обеспечивающей общую модель данных и процессов для всех сфер деятельности предприятия.

На рис. 1 представлена схема иерархической структуры распределенной системы управления (PCY), обеспечивающей сбор, обработку и хранение данных со всех этапов технологического процесса производства целлюлозы.

Иерархическая система управления, характеризуется наличием координирующего центра, обеспечивающего управление системой в целом. При этом центром является вычислительная сеть, организованная определенным образом.

Существование иерархических систем управления подразумевает наличие выделенных, но согласованно действующих подсистем. Удовлетворительное функционирование промышленных систем управления вообще и в химической промышленности в частности имеет место именно благодаря иерархическому построению. Согласование работы отдельных подсистем обеспечивается путем межуровневого обмена необходимой информацией и иерархией критериев управления.

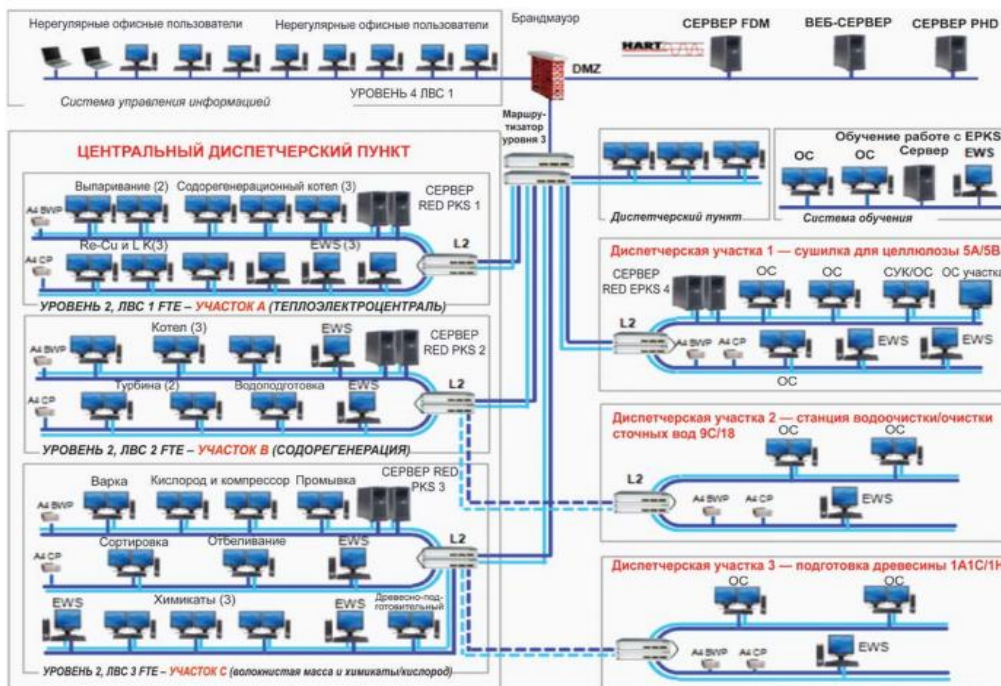


Рисунок 1 - Решения PCY/DCS для целлюлозно-бумажного производства.

На уровне проектирования систем управления отдельных этапов производства были разработаны SCADA-системы по каждому технологическому аппарату, которые также могут применяться для обучения персонала в связи с наглядностью всего технологического процесса в целом и в частности, а также последующего минимального дополнительного обучения операторов на рабочих местах. Пример реализации SCADA-системы представлен на рис. 2.

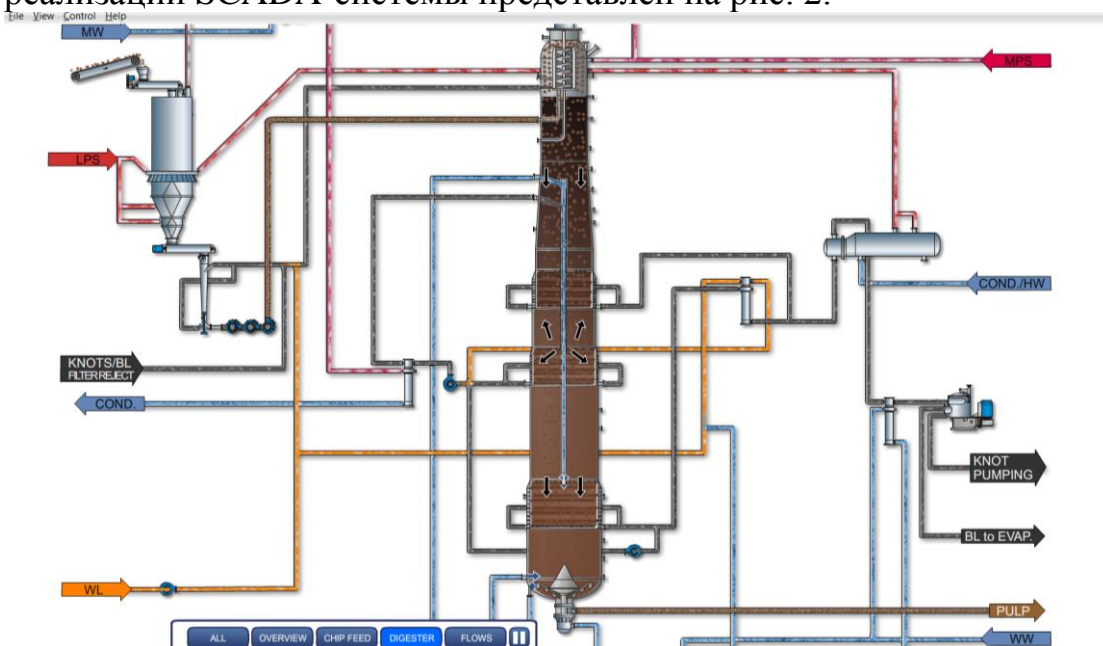


Рисунок 2 - Пример реализации элементов SCADA-системы основного технологического процесса

Реализация данного проекта позволит в полной мере обеспечить потребности деревообрабатывающей отрасли республики в декоративных видах бумаги, а также экспортировать данную продукцию на рынки ближнего и дальнего зарубежья.

Создание производств по глубокой переработке древесины, ввод мощностей по выпуску импортозамещающей продукции даст возможность изменить существующую тенденцию преобладания импорта наукоемкой бумажной продукции над объемами экспорта дешевого древесного сырья, а также позволит обеспечить производство конкурентоспособной продукции пользующейся повышенным спросом как в Республике Беларусь, так и за ее пределами.

УДК 621.313.333

Л. М. Давидович, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

**ПРИМЕНЕНИЕ АССИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
С МАССИВНЫМ РОТОРОМ ДЛЯ СМОТОЧНО-
РАЗМОТОЧНОГО МЕХАНИЗМА ПРИ КАБЕЛЬНОМ
ПИТАНИИ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО
ВНУТРИЗАВОДСКОГО ТРАНСПОРТА**

Аккумуляторный способ питания в принципе является идеальным решением вопроса электроснабжения внутризаводского электро-транспорта. Основное его достоинство обеспечение полной свободы движения. Однако такие недостатки как ограниченная энергоемкость аккумуляторов, относительно небольшой срок службы, высокая стоимость, повышенные требования к обслуживанию побуждают к поиску альтернативных способов электроснабжения.

В работе рассматриваются оригинальная схема смоточно-размоточного кабельного устройства на базе асинхронного двигателя с массивным ротором. Возможность получения мягких механических характеристик двигателя с достаточно высоким пусковым моментом и ограниченным током короткого замыкания позволяет рассмотреть возможность его применения в различных режимах работы.

СЕКЦИЯ № 7
ТЕХНИЧЕСКИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ
И ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

Председатель – Марцунь Владимир Николаевич, заведующий
кафедры промышленной экологии, доцент, канд. техн. наук
Секретарь – Лихачёва Анна Владимировна,
доцент кафедры промышленной экологии, канд. техн. наук

O. Kulesha, T. Obushenko, N. Tolstopalova
(National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», tio63@mail.ru)

THE INVESTIGATION OF BROMPHENOL BLUE REMOVAL FROM WATER BY SOLVENT SUBLATION

These days Ukraine is facing with various ecological problems. One of the most essential is water pollution caused by synthetic dyes. Bromphenol Blue (BB) is an anionic dye, widely used in textile industry. In addition BB belongs to hazardous compounds due to its high toxicity and harmful influence on living organisms. Therefore if industrial wastage containing BB is discharged without any effective pretreatment, it will cause the ruin of local ecosystem and sanitation state worsening.

There is a wide range of methods that are capable to decolour contaminated water such as: coagulation, dissolved air flotation, sorption, reverse osmosis, ultrafiltration, foam flotation, biological treatment, reagent reduction, electro-catalytical decomposition, sorption on micro-porous ionites and others. However most of them are too costly to be applied at the plant level; others, like reagent methods and biological treatment, result in huge sludge accumulation. In addition, biological treatment can't be used in a case of soluble dyes. Consequently looking for inexpensive, environmentally safe technology for wastewater treatment is quite actual now.

Solvent sublation process is an alternative method of water treatment. It is a kind of adsorptive bubble separation technique in which the surface-active (or hydrophobic) compounds in aqueous phase are adsorbed on the bubble surfaces of an ascending gas stream and then collected in an organic layer placed on top of the aqueous phase.

This technique has such pros: 1) high separation efficiency because it is not an equilibrium process and isn't limited by solvent partition coefficient; 2) the independence of percent removal from the ratio of organic solvent to aqueous phase that entails the ability for preconcentration; 3) need for low dosages of organic solvent and surfactant; 4) high selectivity of the process; 6) the simplicity of process operating and required apparatus construction [1].

The aim of this research work was to study the main solvent sublation principles of Bromphenol Blue elimination from water.

To rich this goal the next tasks had to be completed: 1) finding out optimum conditions of the process by deriving an adequate mathematical model; 2) selecting the most appropriate organic solvent to achieve the lowest residual contaminant concentration in the outlet.

The experiment was carried out under such constant conditions: pH 1; N₂ flow rate 40 cm³/h; organic solvent – sec-amyl alcohol (5 cm³).

Reagent-grade hexadecyl-pyridinium chloride was used as a surfactant. The sample solution volume was equal to 250 cm³, containing 10 mg/dm³ BB. UV-visible spectra of the sample solutions were measured at the maximum peak of 588 nm.

By making second order central composite orthogonal design and derived mathematical model with the aid of MS Excel 2003 it was found that the maximum efficiency of depicted process can be attained in a case of carrying it out under the following optimum conditions: temperature 10°C, surfactant/dye ratio 1,94:1; process duration – 15,3 min. Reagent-grade hexadecyl-pyridinium chloride was used as a surfactant. Then under such conditions there was examined the dependence of impurity removal on organic solvent type. The results are represented in Table 1.

Table 1 – The dependence of dye residual concentration and percent removal on the organic solvent type

№	Type of solvent	C _{residual} , mg/dm ³	Percent removal, %
1	n-pentanol	2,3	77
2	sec-amyl alcohol	0,25	97,5
3	n-octanol	1	90
4	2-octanol	1	90
5	1-hexanol	4,1	59

According to obtained results sec-amyl alcohol ensures the highest level of BB elimination equal to 97,5% due to the closest chemical affinity between this solvent and sublimate, branched-chain structure of sec-amyl alcohol and peculiarities of its slight solubility in water. Therefore sec-amyl alcohol is the most proper organic solvent for attaining maximum percent removal of BB.

To sum up, within this work with the use of adequate mathematical model there were determined the next optimum experimental conditions for efficient Bromphenol Blue elimination by solvent sublimation: temperature 10°C, surfactant/dye ratio 1,94:1; process duration – 15,3 min. The most appropriate organic solvent is sec-amyl alcohol (percent removal 97,5%).

REFERENCE

1 Bi P., Dong H., Dong J. The recent progress of solvent sublimation//Journal of Chromatography.- 2010, №1217, p. 2716-2725.

УДК 628.162

Г.С. Столяренко, проф., д-р техн. наук; Н.М. Фомина, ст. науч. сотр.
(ЧГТУ, г.Черкассы, Украина)

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Переработка накопленных за многие годы отходов производств остается острой экологической проблемой в Черкасской области. До сих пор остается нерешенным вопрос использования, утилизации и обезвреживания многих видов токсичных отходов как в жидком, так и в твердом агрегатном состоянии.

Одним из основных источников загрязнения грунтов и подземных вод является очистные сооружения ПАО "Черкасское химволокно".

Проблема разработки эффективных технологий утилизации промышленных шламов, содержащих полезные элементы, является чрезвычайно актуальной, поскольку количество шламовых накоплений на территории области очень велика. Накопленные шламы токсичны для человека и создают серьезные проблемы для окружающей среды. В частности, отходы производства вискозного волокна, накопленные в количестве около 1000000 т в г.Черкассы, содержат до 5,5 – 6,8% цинка, который является необходимым элементом для промышленности и сельского хозяйства.

Для переработки цинксодержащих шламов используют различные методы утилизации: кислотные, щелочные, экстракционные (с помощью органических реагентов) и методы высокотемпературной обработки. Специфичность каждого цинксодержащего шлама требует индивидуального метода утилизации.

Предметом исследования является влияние технологических параметров процесса на осаждение цинка из сточных вод, выщелачивания из шламов и химического осаждения цинкового купороса из щелочных растворов.

Целью работы является установление возможности эффективной переработки цинксодержащих с утилизацией цинка в виде цинкового купороса, а также разработки технологии полной переработки шламов в кальциевую селитру.

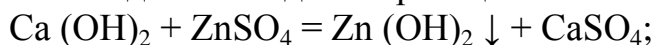
Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

- Исследовать состав и физико-химические свойства цинксодержащего шлама.
- Исследовать влияние различных факторов на процесс извлечения цинка.

– Разработать принципиальную технологическую схему и предложить технологический режим процесса утилизации.

– Провести сравнительные технико-экономические расчеты и определить экономическую эффективность переработки шлама.

Отходы производства вискозного волокна ПАО «Черкасское химволокно» – это шламы, представляющие собой аморфные или мелкокристаллические массы, содержащие от 20 до 80% воды. В технологии производства вискозного волокна для осаждения вискозы используют сульфат цинка, который после процесса практически весь переходит в отходы. Шламы образуются в результате процесса нейтрализации кислых жидких отходов по реакциям:



Существенным недостатком использования в качестве осадителя известкового молока является то, что образовавшийся осадок не подлежит стандартной термической переработке и складировается в специально отведенных местах – шламонакопителях.

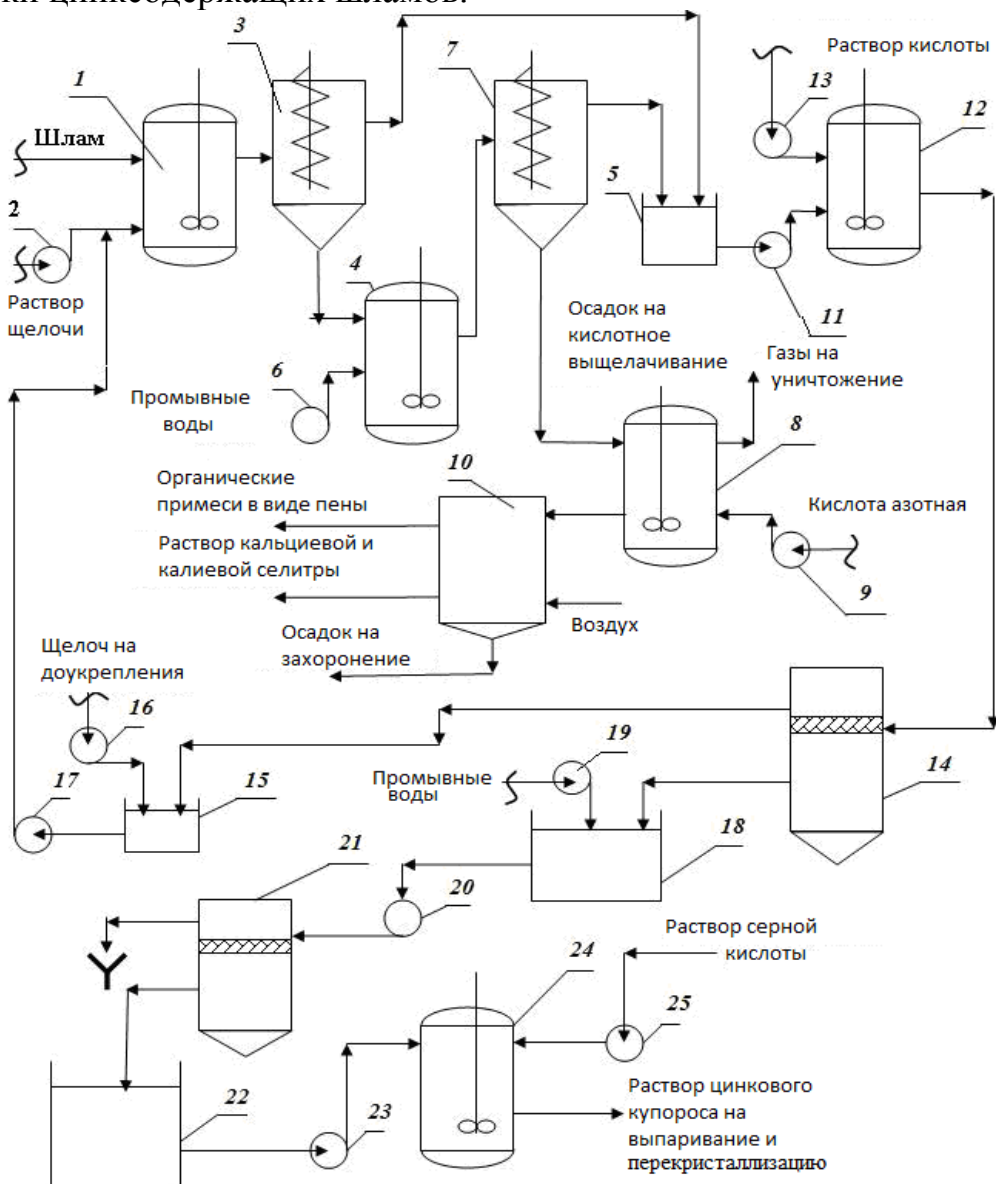
Утилизация цинка из шламов в виде цинкового купороса и возвращение его обратно в производство является перспективным направлением переработки шлама.

На стадии предварительных исследований было проанализировано несколько вариантов осуществления выщелачивания цинка из нерастворимых соединений с применением реагентов различной природы (кислоты, щелочи) [1, 2]. Таким образом, было предложено два пути переработки шлама.

По первой разработанной методике извлечение цинка из шлама заключалось в том, что шлам обрабатывают раствором щелочи. Полученный раствор отделяется от нерастворимого осадка с помощью вакуум-фильтра. Осадок промывается водой. Фильтрат подкисляется раствором кислоты до pH 9-10. Полученная разбавленная суспензия гидроксида цинка фильтруется, а фильтрат отделяется в концентрированную суспензию гидроксида цинка. После добавления промывочной воды жидкость фильтруется. Фильтрат отделяется, очищенная концентрированная суспензия гидроксида цинка нейтрализуется раствором серной кислоты. Раствор цинкового купороса подается на упаривание и перекристаллизацию.

По второй методике шлам обрабатывается раствором азотной кислоты с получением раствора кальциевой селитры, обогащенной микроэлементами [3]. Нерастворимые остатки песка, глины и других компонентов удаляются на первой стадии с дальнейшей обработкой раствора по первой методике.

На рис. 1 приведена технологическая схема процесса переработки цинксодержащих шламов.



1, 4, 12, 24 - реактор смешения, 2, 6, 9, 11, 13, 16, 17, 19, 20, 23, 25 - насос, 3, 7 - винтовой пресс, 5, 15, 18, 22 - буферная емкость, 8 - реактор, 10 - флотатор, 14, 21 - песчаный фильтр с подвижным слоем

Рисунок 1 – Технологическая схема способа получения цинкового купороса и кальциевой селитры

Полученный дополнительный продукт – кальциевая селитра является ценным удобрением. Кальциевая селитра играет ключевую роль в формировании клеточных стенок и мембран, улучшает цвет и качество плодов, поэтому особенно важна для быстрорастущих культур. Кальций не перераспределяется внутри растений, то есть не перемещается от старых листьев к молодым, поэтому почва всегда

должна содержать достаточное количество этого вещества в доступной для растений форме. Кальций способствует предупреждению потерь при хранении и транспортировке овощей и фруктов. На рынок Украины завозится как правило три типа импортной кальциевой селитры – полностью водорастворимая кальциевая селитра для систем капельного орошения (известная под торговыми марками Кальцинит (CalciNit) и Тессендерло), кальциевая селитра для открытого грунта (известная под маркой N30 или Тропикоут) и кальциевая селитра для открытого грунта с содержанием 0,2% бора (известная под торговой маркой Нитрабор). Полученная таким образом кальциевая селитра обогащена микроэлементами и может составить конкуренцию всем видам кальциевой селитры, которая поступает на рынок Украины.

При переработке шлама с получением в качестве продуктов цинкового купороса и кальциевой селитры в течение 10 лет ориентировочная прибыль составит 1684000 Евро за 1 год.

Таким образом, из отходов производства вискозного волокна можно получить ценные компоненты и при этом уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 5760 України, МКИ С 22 В 19/34. Спосіб отримання цинкового купоросу / Столяренко Г.С., Костигін В.О., Семененко Т.І., Фоміна Н.М., Паранько Н.Г., Атамась Г.М., Трефянчин В.В., Сандалова Л.Г., Сехін Є.М., Вілько А.П.; заявник і патентовласник Черкаський держ. техн. ун-т, ВАТ "Черкаське хімволокно". – № 20040806824; заявл. 13.08.2004; опубл. 15.03.2005, Бюл. № 3.

2. Пат. 5759 України, МКИ С 22 В 19/34. Спосіб комплексної переробки цинковмісного шламу / Столяренко Г.С., Костигін В.О., Фоміна Н.М., Паранько Н.Г., Атамась Г.М., Трефянчин В.В., Сандалова Л.Г., Сехін Є.М., Вілько А.П.; заявник і патентовласник Черкаський держ. техн. ун-т, ВАТ "Черкаське хімволокно". – № 20040806823; заявл. 13.08.2004; опубл. 15.03.2005, Бюл. № 3.

3. Пат. 22213 України, МКИ С 22 В 19/00. Спосіб отримання цинкового купоросу і кальцієвої селітри / Столяренко Г.С., Костигін В.О., Атамась Г.М.; заявник і патентовласник Столяренко Г.С. – № u200604768; заявл. 28.04.2006; опубл. 25.04.2007, Бюл. №5.

В.К. Шелег, А.С. Ковчур, Р.А. Москалец

(Белорусский национальный технический университет, г.Минск,
Витебский государственный технологический университет, г.Витебск)

СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ГАЛЬВАНИЧЕСКОМУ ПРОИЗВОДСТВУ

Гальваническое производство является одним из наиболее опасных источников загрязнения окружающей среды. Главным образом поверхностных и подземных водоемов, ввиду образования большого объема сточных вод, содержащих вредные примеси тяжелых металлов, неорганических кислот и щелочей, поверхностно-активных веществ и других высокотоксичных соединений. Также источниками загрязнений может служить большое количество твердых отходов (шламов), особенно от реагентного способа обезвреживания сточных вод. Для этого необходимо иметь наиболее простые, экономически оправданные и проверенные на производстве способы технологического решения данной проблемы. Эта проблема является актуальной, так как полностью избежать процесса образования гальванического шлама, по-видимому, не удастся и в будущем.

Современное гальваническое производство значительно отстало от требований времени как в области технологии, так и в области экологии. При выборе технологии гальванического производства практически не учитываются экологические требования. Действующие в стране гальванические производства насчитывают массу цехов, участков, и построены по одной технологии, рассчитанной на решение только одной задачи - нанесение покрытий или обработки поверхности металла. При этом не учитываются процессы переработки и утилизации гальванических отходов, а также проблем защиты окружающей среды. Следует отметить, что большинстве случаев отходы содержат тяжелые металлы в малорастворимой форме.

Сегодня совершенствование гальванического производства осуществляется путем внедрения отдельных единиц механизированного оборудования, поточно-механизированных и автоматических линий. В связи с повышенными требованиями к качеству продукции и к финишной обработке изделий предприятиями уделяется все большее внимание, и в настоящее время усиленно изыскиваются возможности для реконструкции гальванических производств и повышения их рентабельности. В большинстве случаев гальваническая обработка основана на групповой технологии, формирование групп деталей самых разных наименований и типоразмеров особых проблем не вызывает. Поэтому на предприятиях с большим общим объемом выпуска изделий или при крупносерийном характере производства основным пу-

тем технического перевооружения гальванических цехов является внедрение автоматических линий нанесения покрытий. Но при проектировании новых технологических объектов не нужно забывать и о критерии оценки экологической опасности гальванического производства (ЭК), который определяется как отношение конечной концентрации компонента раствора в сбрасываемой (очищенной) воде ($C_{\text{кон}}$) к его ПДК в воде рыбохозяйственных водоемов и прямо пропорционально зависит от концентрации компонента в технологическом растворе (C_0), кратности разбавления промывными водами выносимого из ванны раствора (q/Q) и обратно пропорционально зависит от степени очистки сточных вод:

$$ЭК = \frac{C_{\text{кон}}}{\text{ПДК}} = \frac{C_0}{\text{ПДК}} \times \frac{q}{Q} \times (1 - \alpha)$$

Чем больше экологический критерий, тем большую экологическую опасность представляет тот или иной технологический раствор, гальванический цех; суммарно по всему гальваническому цеху с учетом работы очистных сооружений экологический критерий не должен превышать единицы.

Представленная зависимость показывает, что снижение отрицательного воздействия гальванического производства на окружающую среду достигается снижением экологической опасности применяемых растворов и электролитов ($C_0/\text{ПДК}$), рационализацией водопотребления (q/Q) и повышением эффективности очистки сточных вод.

Таким образом, при проведении работ по снижению экологической опасности гальванопроизводства в первую очередь необходимо проанализировать номенклатуру применяемых растворов и электролитов. И по возможности произвести замену токсичных растворов на менее токсичные либо снизить концентрацию токсичных компонентов в применяемых на производстве растворах. Помимо этилендиамина и катапина, наибольшей экологической опасностью обладают ионы тяжелых цветных металлов. Среди кислотных остатков и лигандов при одинаковой концентрации наибольшей экологической опасностью обладают фторидные, цианидные и йодидные компоненты, наименьшей - сульфаты, хлориды и нитраты. При замене растворов и электролитов всегда необходимо учитывать эффективность очистных сооружений по очистке образующихся при этом стоков.

Далее после рассмотрения возможности замены электролитов, и при ведении реконструкции существующих производств желательно провести работу по снижению непроизводительных затрат. В это направление можно вынести предложения по увеличению срока службы приспособлений, механизмов и улучшению качества нанесения покрытий. Одним из вариантов решения этой проблемы является изоли-

рование приспособлений и механизмов, используемых в гальванических производствах, различными полимерными и лакокрасочными материалами, или же применение разного вида антикоррозионной защиты.

В заключении необходимо подчеркнуть, что водопользование в гальваническом производстве имеет свою специфику, вопросы оптимизации водного хозяйства необходимо рассматривать во взаимосвязи с технологией гальванопокрытий. Поэтому при реконструкции гальванического производства этому вопросу нужно уделить особое внимание.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шлугер М.А. «Гальванические покрытия в машиностроении» справочник в 2 т. / под ред. М.А. Шлугера : М. «Машиностроение» – 1985 г.

2. Зайнуллин Х.Н. «Утилизация осадков сточных вод гальванических производств» монография / Зайнуллин Х.Н., Бабков В.В., Закиров Д.М. и др. : М. «Руда и металлы» – 2003г.

3. Каписов В.К. «Эффективность использования водных ресурсов на машиностроительных заводах» / В.К.Каписов и др. : М. «Машиностроение» – 1977г.

УДК 628.162

Г.С. Столяренко, проф., д-р техн. наук
(ЧГТУ, г.Черкассы, Украина)

АЛГОРИТМ СТАДИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ШЛАМОВЫХ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Работа проведена в соответствии с календарным планом и программой темы «Исследование, разработка и внедрение схемы переработки отходов технологии очистки сточных вод гальванических производств».

Цель работы: создание регионального производства по утилизации отходов.

По теме выполнены следующие разделы:

1. Обследованы источники образования шламовых отходов 16 предприятий области. Проведена классификация отходов. Установлено 11 источников, которые используют реагентный метод повышения рН при очистке сточных вод, из них: 9 – используют для осаждения известь; 2 – едкий натр; 5 источников используют электрохимический метод очистки сточных вод, из них: 1 – применяет доочистку с ис-

пользованием ионообменных смол; 2 – используют аппараты «Элион»; 2 – имеют электрохимическую очистку в электрокоагуляторах с отдельными линиями основного производства (никелирование, меднение, хромирование). На каждом из предприятий накопилось несколько тонн отходов гальванических производств.

2. Проведены качественный и количественный анализы представительных проб отходов всех источников и захоронений. При этом были использованы следующие методы анализов:

- реагентно-структурный (качественный состав определения структуры кристаллической решетки);
- титриметрический (химический метод определения элементов);
- электронная микроскопия (форма кристаллов, дисперсность образца);
- полярографический (качественный и количественный состав);
- масс-спектрометрический анализ на ЭМАЛ-2 (полный качественный и количественный состав шламов).

3. На основании проведенных анализов составлена база данных по источникам загрязнений. Данные по используемой технологии очистки сточных вод, количеству шламов с различной характеристикой, качественному составу шламов легли в основу исследований по моделированию промышленной технологии переработки шламовых отходов.

Принципиальная схема технологии утилизации шламов представлена на рисунке.

4. Проведено исследование по технологии переработки шламов (предварительное кислотное растворение шламов).

4.1 Селективное извлечение цветных металлов.

Проведены исследования по селективному извлечению Fe^{3+} , Zn^{2+} , Co^{2+} методом экстракции органическими реагентами. Образующиеся в органическом слое комплексные соединения подвергают разрушению с последующей регенерацией растворителя и получением индивидуальных солей извлекаемого металла. В настоящее время технология не может быть реализована из-за дефицита растворителей.

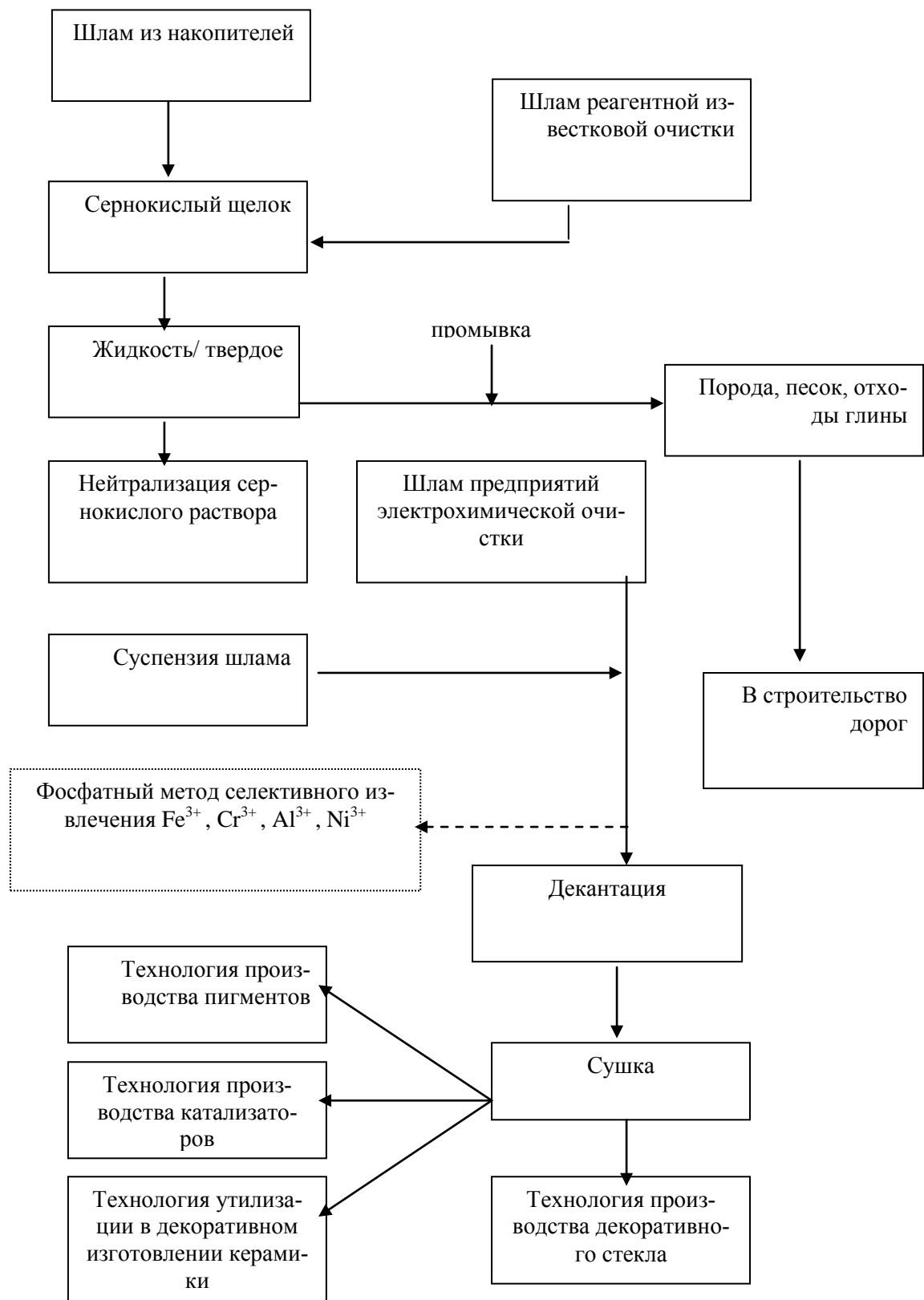
4.2 Ступенчатое осаждение.

Ступенчатое (или дробное) осаждение с граничными значениями pH не привело к четкой селективности по осаждаемым металлам. Наблюдаются процессы соосаждения в соответствии со стандартными шкалами образования гидроксидов соответствующих металлов.

4.3 Мембранные и ионообменные методы разделения.

При использовании новых ионообменных мембран получены положительные результаты по очистке растворов различной концентрации от ионов тяжелых металлов. Если использовать мембранную

технологии как финишную стадию можно достичь 97-98 %-ной очистки по всем ионам тяжелых металлов (конечная концентрация 0,1 мг/л).



Проведены исследования по снижению энергозатрат путем перевода процесса с обратноосмотических режимов на ультрафильтрационные (предварительный перевод ионов металлов в высокомолекулярные комплексы). Достигнута 30 % экономия электроэнергетических затрат. Исследования по ионообменным методам извлечения хрома (в виде Cr (VI)), а также полный перевод доочистки на отечественные ионообменные смолы продолжаются. Основной причиной затруднений при внедрении ионообменной очистки является повышенное содержание органических соединений, масел, ПАВ в сточных водах.

4.4 Производство железо-хромовых катализаторов.

Разработана технология и подготовлена техническая документация на производство железо-хромовых катализаторов на базе шламов линии переработки сточных вод отходящих из отделения хромирования. Полученные партии катализаторов сертифицированы отраслевой лабораторией катализа в качестве катализаторов окисления при очистке отходящих газов от органических растворителей. Произведены исследования на качественный и количественный состав (масс-спектрометрический анализ), прочность, пористость, каталитическую активность по ряду соединений.

Процесс производства катализатора состоит из следующих стадий:

- отстаивание суспензии с декантацией воды;
- приготовление и дозирование добавок (промогентов);
- смешение суспензии и добавок;
- сушка суспензии;
- смешивание порошка с носителем;
- таблетирование катализатора;
- фасовка.

4.5 Утилизация шламов

Получены положительные результаты по утилизации шламов при переработке отходов в декоративные строительные материалы, изделия и предметы быта. Изучено влияние добавок на оплавление, глянец, величину диффузионного отражения декоративных глазурей керамических облицовочных плиток с целью замены дефицитных пигментов, уменьшения расхода ферритовой глазури.

4.6 Утилизация меди, серебра, золота

Проверена эффективность электрохимического осаждения меди из медьсодержащих растворов (99 % степень утилизации).

Проведены исследования по альтернативному методу окисления и осаждения золота из растворов (замена цианидного метода методом

озонирования).

4.7 Предложена унифицированная технология цеха переработки шламовых отходов региона (подготовлена техническая документация).

Была разработана карта технологических процессов последовательности стадий по переработке отходов.

5. Фосфатная технология селективного извлечения

Проводятся работы по фосфатному покомпонентному методу извлечения тяжелых металлов из сернокислотных щелоков. Предварительно очищенная суспензия может быть подвергнута обработке фосфатным методом по сложной технологической цепочке.

УДК 621.357

В.А. Ашуйко, канд. хим. наук, Л.Н. Новикова, канд. хим. наук,
В.И. Чепрасова, асп.
(БГТУ, г. Минск)

ПОЛУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ПИГМЕНТОВ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ РАСТВОРОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

В Республике Беларусь по данным 2012 года образовалось 27344,11 тонн отработанных растворов, гальванических производств из ванн нанесения покрытий. Причем только 1446,11 тонн из них было переработано, что составило 5,3% от общего объема.

Отработанные растворы из гальванических ванн характеризуются высокой концентрацией содержащихся в них компонентов (до 100–200 г/л) и сравнительно небольшим объемом, определяемым размерами данного типа гальванической ванны (обычно 0,5–1,5 м³) и количеством таких ванн на предприятии. Состав и концентрация входящих в растворы компонентов, стандартизированы и поэтому практически одинаковы для всех предприятий. Слив растворов из гальванических ванн происходит не более 1–2 раза в год, так как они в процессе эксплуатации подвергаются периодической очистке и корректировке состава. Слив производится только после накопления в рабочем растворе продуктов, необратимо ухудшающих технологические параметры работы гальванической ванны. Эти растворы в первую очередь направляются на обезвреживание при наличии на предприятии очистных сооружений [1].

Следует отметить, что в растворах гальванических производств, кроме основных компонентов, всегда присутствуют примеси других соединений, попадающих в ванну либо при химическом взаимодействии

вии раствора с обрабатываемыми в нем деталями, либо в результате заноса их из предшествующих ванн.

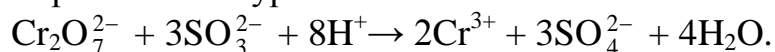
Решение вопроса об утилизации отработанных гальванических растворов позволит вернуть в производство ценные металлы и их соединения, а также уменьшить загрязнение тяжелыми металлами окружающей среды.

Целью настоящей работы было изучение возможности использования отработанных растворов хромирования для получения хромо-содержащих пигментов.

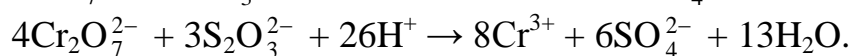
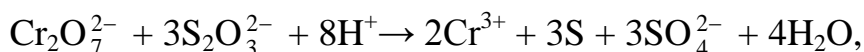
При хромировании, используют сульфатные, фторидные или сульфато-кремнефторидные электролиты. Стандартный сульфатный электролит содержит основные компоненты: 220 – 250 г/л CrO_3 ; 2,2 – 2,5 г/л H_2SO_4 [2]. Электролит имеет широкий рабочий интервал. Состав электролита в процессе работы меняется медленно.

В состав изучаемых отработанных растворов хромирования входят соединения шестивалентного и трехвалентного хрома. Хром-содержащими пигментами, обладающими антикоррозионными свойствами, являются оксид хрома(III) и фосфат хрома (III). Их получение проводилось в несколько этапов.

Отработанный электролит хромирования имел низкое значение pH, которое повышалось до значений 4 – 5 нейтрализацией раствором соды. Далее в раствор вводили восстановитель. Для восстановления дихромат ионов нами использовались, взятые с избытком тиосульфат натрия и сульфит натрия. При использовании сульфита натрия восстановление протекало по уравнению:



Восстановление тиосульфат ионов может протекать по следующим схемам:



Осадки, содержащие примеси и возможно серу, отфильтровывали.

Для получения гидроксида хрома (III) фильтраты в обоих случаях обрабатывали 25% раствором аммиака. Выделенный гидроксид хрома (III) высушивали и для удаления воды прокаливали при 200°C. Образцы оксида хрома (III) измельчались, просеивались и исследовались методами физико-химического анализа (РФА, ИК-спектроскопии). Для полученного пигмента определялись физико-технические свойства (маслоемкость, pH водных вытяжек, водорастворимость) [3, 4].

Ранее в работе [5] было показана перспективность использования пигментов, содержащих фосфаты переходных металлов. Поэтому

из раствора сульфата хрома(III), полученного переработкой отработанных растворов хромирования, методом осаждения, был выделен кристаллогидрат фосфата хрома(III). Исходная масса кристаллогидрата фосфата хрома(III) высушивалась при температуре 200-250°C, а затем прокаливалась при температуре 850°C. Образец прокаленного фосфата хрома (III) измельчался, просеивался и исследовался методами физико-химического анализа (РФА, ИК-спектроскопии).

По данным исследований было установлено, что в состав пигмента, полученного из отработанного электролита хромирования, входит кристаллический фосфат хрома (III), а так же следовые количества примесей неизвестного состава (до 5%). Для полученного пигмента определялись физико-технические свойства (маслоемкость, рН водных вытяжек, водорастворимость).

В результате показана возможность использования отработанных растворов хромирования для получения хромсодержащих пигментов, получены образцы пигментов с антикоррозионными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1 Ключков Б.Я., Нейтрализация сточных вод в гальваническом производстве / Б. Я. Ключков, С. В. Луценко, В. И. Мирен. М.: НИИ-Тавтопром, 1979.

2 Дасоян М.А., Технология электрохимических покрытий / М. А. Дасоян, И. Я. Пальмская, Е. В. Сахарова. Л.: Машиностроение, 1989.

3 Ермилов П.И., Пигменты и пигментированные лакокрасочные материалы / П. И. Ермилов, Е. А. Индейкин, И. А. Толмачев. Л.: Химия, 1987.

4 Беленький Е.Ф., Химия и технология пигментов / Е.Ф. Беленький, И. В. Рискин. Л.: Химия, 1974.

5 Ашуйко В.А., Неорганические антикоррозионные пигменты для лакокрасочных покрытий металлов / В. А. Ашуйко, Н. И. Иванова, О.И. Салычиц, О.С. Волынец // «Техника и технология защиты окружающей среды»: материалы Междунар. научно-технич. конференции, Минск, 9–11 окт. 2013 г. / БГТУ – Минск, 2013.

УДК 66.014:667.622.11:661.8

В.И. Чепрасова, асп.; О.С. Залыгина, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО И ФАЗОВОГО СОСТАВА ПИГМЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ КАДМИРОВАНИЯ

В настоящее время пигменты применяются во многих отраслях промышленности для окраски керамических изделий, цемента, бетона, пластмасс, бумаги, химических волокон и т.д. Наиболее крупными производителями пигментной продукции являются компании США, Германии, Финляндии, Италии, Украины. В 2000-м году мировое потребление всех пигментов составило 5,2 миллионов тонн [1]. При этом около 97% из этого количества приходилось на долю неорганических пигментов. Пигменты выпускались в следующих количествах: диоксид титана – 60%, железистые оксиды (природные и синтетические) – 14%; технический углерод – 10%, литопон (включая сульфид цинка) – 4%; хроматы – 3%, оксид цинка – 1%, оксид хрома – 1%, пигменты со спецэффектами – 1%, комплексные цветные пигменты – 0,5%, железная лазурь – 0,5%, ультрамарин – 0,5%, кадмиевые пигменты – 0,1%. Согласно исследованиям маркетологов TransparencyMarketResearch (США) на данный момент неорганические пигменты занимают около 51 % рынка. Доля неорганических пигментов в общем объеме производства снизилась по сравнению с 2000-ми годами, но объем их потребления продолжает расти.

Мировая потребность в неорганических пигментах на сегодняшний день составляет 5,5-6,0 миллионов тонн [2]. Промышленность Республики Беларусь работает в основном на привозных пигментах (доля импорта превышает 80 %), которые она закупает в Германии, Чехии, Китае. Согласно статистическим данным в 2012 году Республика Беларусь импортировала пигментов на сумму 7 миллионов долларов, причем ежегодно прирост импорта в период с 2009 по 2012 гг. составил в среднем 8 % [3].

В связи с этим для решения задачи импортозамещения необходимо увеличивать выпуск пигментов в республике, что требует значительных затрат на дорогостоящее химически чистое сырье. Поэтому актуальным является получение пигментов на основе отходов, в частности из отходов гальванического производства.

В данной работе исследовались отработанные технологические растворы гальванического производства ОАО «Экран» (г. Борисов), составы которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы исследуемых отработанных технологических растворов гальванического производства

Отработанный технологический раствор	Компонент	Концентрация, г/л
Электролит кадмирования	CdSO ₄	30-60
	Na ₂ SO ₄	40-60
	H ₂ SO ₄	40-60
Раствор обезжиривания	NaOH	20-40
	Na ₂ CO ₃	20-40
	Na ₃ PO ₄	20-40

Отработанный электролит кадмирования и раствор обезжиривания подвергались взаимной нейтрализации, полученные осадки высушивались и прокаливались при различных температурах. Исходя из химического состава отработанных технологических растворов, можно предположить образование гидроксида, карбоната и фосфата кадмия. Все эти соединения являются труднорастворимыми ($PP_{Cd(OH)_2}=7,2 \cdot 10^{-15}$; $PP_{CdCO_3}=1 \cdot 10^{-12}$; $PP_{Cd_3(PO_4)_2}=2,53 \cdot 10^{-33}$) [4]. Наибольшей растворимостью характеризуется гидроксид кадмия Cd(OH)₂ ($2,7 \cdot 10^2$ г/100мл), что свидетельствует о малой вероятности его образования. Карбонат и фосфат кадмия имеют близкие значения растворимости ($2,76 \cdot 10^{-6}$ г/100мл и $6,2 \cdot 10^{-6}$ г/100мл) [4], что свидетельствует о возможности образования обеих солей, а также их смеси.

Результаты рентгенофазового анализа, который осуществлялся с помощью рентгеновского дифрактометра Д8 AdvanceBrukerAXS (Германия), свидетельствуют, что кадмий осаждается в виде карбоната (рис.1), который характеризуется белым цветом.

Согласно литературным данным при термообработке карбоната кадмия происходит его разложение с образованием оксида кадмия, который может существовать в двух модификациях – α- и β-формах. Переход α-формы CdO белого цвета в β- форму красно-коричневого цвета происходит при температуре выше 350°C. Это подтверждается данными рентгенофазового анализа (рис.2). На рентгенограмме видно появление характеристических пиков, соответствующих CdO. Поскольку параметры кристаллических решеток α- и β-форм оксида кадмия очень близки, определить с помощью рентгенофазового анализа образование конкретной модификации CdO невозможно. Однако изменение цвета при термообработке от белого к красно-коричневому свидетельствует об образовании β-формы.

Согласно данным электронной микроскопии содержание кадмия в образцах полученных пигментных материалов возрастает от 64 до 69% (таблица 2) при увеличении температуры термообработки от 100 до 370 °C, что может быть связано с разложением карбоната кадмия и

улетучиванием диоксида углерода. Содержание железа в образцах незначительно (до 1,3 %), поэтому его влияние на цветовые характеристики практически отсутствует.

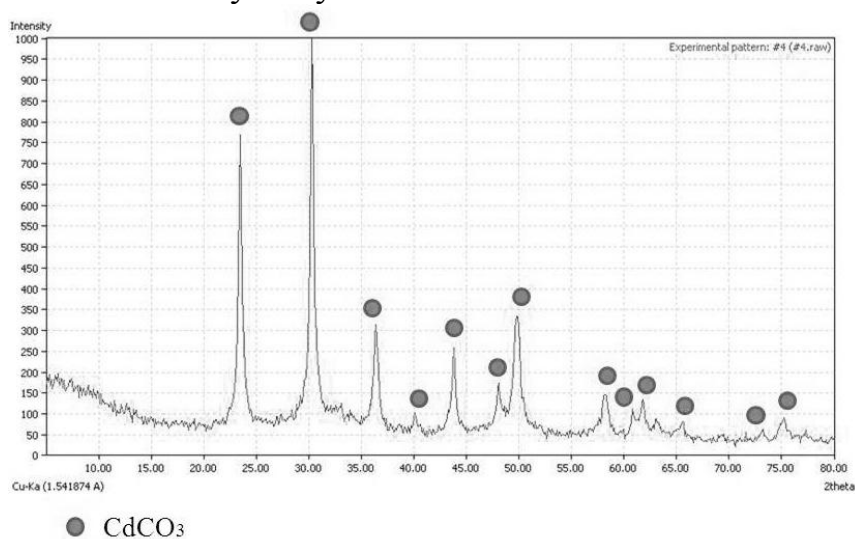


Рисунок 1 – Результаты рентгенофазового анализа высушенных образцов

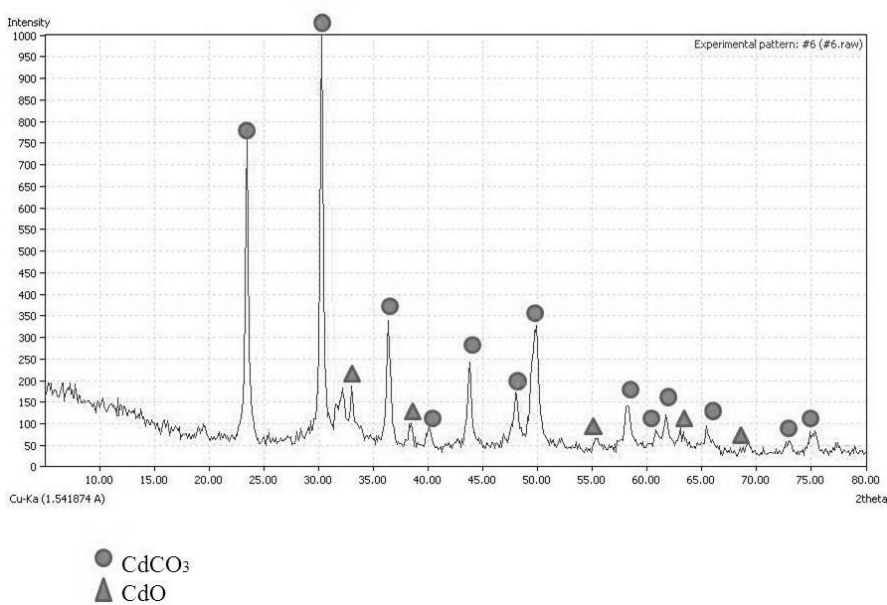


Рисунок 2 – Результаты рентгенофазового анализа образцов (термообработка при температуре 370 °С)

Таблица 2 – Элементный состав полученных пигментов

	O	Na	P	S	C	Fe	Cd
Cd-Э100	25,53	4,06	2,16	0,75	1,33	1,27	64,89
Cd-Э300	25,06	4,80	1,67	0,72	-	0,85	65,91
Cd-Э370	23,57	3,22	1,98	0,48	1,19	0,56	69,00

* – температура термообработки, °С; М – ОАО «МТЗ», Э – ОАО «Экран».

Таким образом, в данной работе подтверждается возможность получения кадмиевых пигментов красно-коричневой цветовой гаммы

из отработанных технологических растворов гальванического производства. Однако для получения пигментов с заданными техническими свойствами (оттенок, укрывистость, маслостойкость, интенсивность) требуется изучение условий их получения: концентрации исходных растворов, интенсивности их перемешивания, температуры и продолжительности их прокаливания и других параметров. В настоящее время кадмиевые пигменты применяются для получения покрывных лаков и красок (типографских, художественных, для окраски транспортных средств, для наружных работ, окраски пластмасс в массе, химических волокон, линолеума, керамических изделий)[1].

ЛИТЕРАТУРА

1 Неорганические пигменты, производство и перспективы / А.С. Дринберг и [др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2007. – №12. – С. 20-23.

2 Влияние газовой среды на состав и свойства продуктов термообработки гальваношламов / Л.С. Ещенко, Л.Ю. Малицкая, Г.М. Жук; БГТУ // Белорусский государственный технологический университет. Труды БГТУ. – Минск: БГТУ, 2013. - №3 (159). – С.77-80.

3[Электронный ресурс] – Дата доступа: 28.10.2014. – Режим доступа: http://www.investinbelarus.by/docs/pigment_production_rus.pdf.

4 Волков, А.И. Большой химический справочник / А.И. Волков, И.М. Жарский. – Минск: Современная школа, 2005. – 607 с.

УДК 621.357

М.А. Лисинецкая, магистрант; А.В. Лихачева, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗООКСИДНЫХ ПИГМЕНТНЫХ МАСС ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ТРАВИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Переработка отходов гальванического производства за последние годы приобретает первостепенное значение. Это связано с тем, что в данном производстве образуется большое количество разнообразных отходов таких как: гальванические шламы, отработанные технологические растворы, промывные сточные воды, осадки сточных вод.

Данные отходы в основном подвергаются обезвреживанию, хранению и захоронению, так как имеют сложный непостоянный во времени состав, образуются периодически и в небольших количествах.

В настоящее время все больше внимания уделяют технологиям, позволяющим эффективно извлекать металлы из шламов, отработанных

ных технологических растворов и сточных вод гальванического производства и создавать замкнутые системы оборотного водоснабжения. Таким образом, можно предотвратить вредное воздействие отходов гальванического производства на окружающую среду, перевести их во вторичные сырьевые ресурсы и получать экономическую прибыль.

Отработанные технологические растворы делятся на: отработанные травильные растворы, отработанные растворы электролитов, растворы ванн обезжиривания и другие.

Объектом изучения в данной работе являются отработанные травильные растворы гальванического производства.

Операция травления производится с целью удаления с поверхности металлов окалина, ржавчины и оксидных пленок.

Травление металлов осуществляют двумя способами химическим и электрохимическим.

Процесс травления обычно следует за процессом обезжиривания, причем высокое качество травления находится в прямой зависимости от качества предварительного обезжиривания.

Скорость удаления с поверхности деталей окалина, ржавчины и оксидов зависит от их состава и структуры, а также от состава травильного раствора, его концентрации, температуры и способов травления. Все это влияет на состав и количество образующихся отработанных травильных растворов.

Важной характеристикой травильных растворов является потеря способности протравливать новые партии металлов. Травильные растворы потерявшие способность протравливать металлы называются отработанными травильными растворами. Отработанные травильные растворы образуются как при химическом так и при электрохимическом травлении металлов. Периодичность замены отработанных травильных растворов обычно составляет примерно 5-20 суток. Отработанный травильный раствор содержит большое количество шламов образующихся при травлении, а также свободную кислоту.

Отработанные травильные растворы и промывные воды, образующиеся в процессе травления стали на металлургических и машиностроительных предприятиях, практически не используются и не перерабатываются. При этом они содержат 100-300 г/л солей железа и могут быть исходным сырьем для синтеза железоксидных пигментных масс. В нашей работе мы получали железоксидные пигменты из отработанных травильных растворов гальванических производств крупнейших машиностроительных предприятий Республики Беларусь.

Для того чтобы уменьшить влияние переменного состава отра-

ботанных травильных растворов на качество получаемых пигментов в нашей работе мы предприняли корректировку отработанных травильных растворов железными стружками. Затем скорректированный раствор использовали для получения пигментных масс следующих цветов: желтого, оранжевого, красного, коричневого и черного.

Получение пигментной массы желтого цвета, содержащей гетит ($\alpha\text{-FeOOH}$), основано на обработке нагретого до 60°C отработанного травильного раствора растворами аммиака и пероксида водорода в течение 1 часа. После фильтрования, полученную суспензию промывали от водорастворимых солей и сушили при $100\text{-}120^\circ\text{C}$. Установлено, что на цвет пигмента влияет размер частиц и он изменяется с их увеличением от зеленовато-желтого до коричневатого-желтого.

Оранжевый пигмент, содержащий лепидокрокит ($\gamma\text{-FeOOH}$) получали при осаждении отработанного травильного раствора раствором щелочи до нейтральной среды. После этого суспензию нагревали в течении короткого времени, быстро охлаждали и проводили окисление воздухом.

В качестве осадителя при получении пигментной массы черного цвета, содержащей магнетит (Fe_3O_4), использовали карбонат натрия (Na_2CO_3). Полученную суспензию нагревали до $80\text{-}90^\circ\text{C}$, а затем проводили окисление воздухом. Для того чтобы увеличить скорость окисления к полученной суспензии добавляли хлорид цинка.

Пигментную массу красного цвета, содержащую гематит (Fe_2O_3), получали двумя способами.

Первый способ заключался в прокаливании пигментных масс, содержащих гетит и магнетит при $650\text{-}700^\circ\text{C}$.

Второй способ предусматривал прокалывание предварительно дегидратированного железного купороса при 700°C .

Получение пигментной массы коричневого цвета, содержащей магнетит ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), проводили путем механического смешения пигментных масс желтого, красного и черного цветов.

Широкое применение железоксидные пигменты нашли в производстве цветных строительных материалов и изделий – искусственного камня, тротуарной плитки, черепицы. Они применяются также в производстве керамической глазури, катализаторов химических процессов. Кроме того, железоксидные пигменты широко применяются как для непосредственного окрашивания пластмасс в массу, так и для производства суперконцентратов.

Также полученные пигменты можно использовать для приготовления красок, грунтовок, эмалей, предназначенных для отделки поверхностей внутри и снаружи помещений.

Проверку качества полученных пигментных масс проводили на соответствие следующих показателей: укрывистость, pH водной суспензии, маслосмолность, массовая доля веществ, растворимых в воде.

Определение укрывистости проводили по ГОСТ 8784-75. Визуальный метод определения укрывистости, заключается в нанесении слоев лакокрасочного материала на стеклянную пластинку до тех пор, пока контуры черно-белой контрастной пластинки или шахматной доски, подложенной под стеклянную пластинку, станут невидимыми.

Определение pH водной суспензии проводили по ГОСТ 21119.3-91. За результат испытания принимали среднее значение результатов двух определений.

Определение маслосмолности проводили по ГОСТ 21119.8-75, весовым методом, основанным на приготовлении суспензии пигментной массы, ее фильтровании, выпаривании и последующей сушке в сушильном шкафу при 105 °С.

В таблице 1 представлена сравнительная характеристика качества пигментов производимых в промышленности и полученных железистооксидных пигментных масс в ходе эксперимента.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика качества пигментов

Название минерала, содержащегося в пигменте	Укрывистость, г/м ²	pH водной суспензии	Маслосмолность, г/100 г пигмента	Массовая доля веществ, растворимых в воде, %
Гетит (α -FeOOH)	20	4,0-7,0	35-60	0,8
	23,6	6,90	40,7	0,8
Лепидокрокит (γ -FeOOH)	20	4,0-7,0	25-35	0,5
	22,9	6,82	39	0,61
Магнетит (Fe ₃ O ₄)	30	4,0-8,0	20-25	0,6
	25,5	7,84	27,5	0,59
Гематит (α -Fe ₂ O ₃)	8	5,5-7,0	20-45	1
	12,9	6,47	34,2	0,51
Маггемит (γ -Fe ₂ O ₃)	20	4,0-7,0	17-25	0,8
	21,4	6,2	24	0,7

Примечание:
 - в 1 строке указана величина показателей по техническим документам;
 - во 2 строке указана величина показателей полученных в ходе эксперимента.

На основе полученных данных при сравнении характеристик качества пигментов, которые выпускаются в промышленности и пигментных масс, которые были получены из отработанных травильных растворов можно сделать вывод, что качество полученных железистооксидных пигментных масс практически полностью соответствуют техническим требованиям.

В настоящее время на большинстве предприятий отработанные травильные растворы сбрасываются на очистные сооружения, что

приводит к потерям металлов и химических реагентов, а также нарушает нормальную работу очистных сооружений. Поэтому поиск возможных направлений использования отработанных травильных растворов необходим, поскольку существующая в настоящее время ситуация недопустима. Предложенное нами решение позволит приблизить гальваническое производства к современному уровню его развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов, С.С. Экологически безопасное гальваническое производство / С.С. Виноградов. – М.: Производственно-издательское предприятие “Глобус”, 1998. – 302 с.
2. Фролова, Л.А. Условия получения черного железоксидного пигмента из отработанных травильных растворов / Л.А. Фролова // Научно-технический и производственный журнал / Metallургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск, 2012. – С. 123-125
3. Калининская, Т.В. Цветные пигменты / Т. В. Калининская, А. С. Дринберг. – М.: ООО "Издательство "ЛКМ-пресс", 2013. - 360 с.
4. Скороходова, О.Н. Неорганические пигменты и их применение в лакокрасочных материалах / О.Н. Скороходова, Е.Е. Казакова. – М.: Издательство ООО “Пэйнт-Медиа”, 2005. – 168 с.
5. Ильин, В.А. Краткий справочник гальванотехника / А.В. Ильин. – СПб.: “Политехника”, 1993. – 256 с.

УДК 628.335.2

И.Э. Головнев¹, инженер, В.Н. Марцуль², доц., канд. техн. наук
(¹УП «Витебскводоканал», г. Витебск, ²БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ В ТЕХНОЛОГИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

В технологии биологической очистки сточных вод используется действие ультразвука (УЗ) как на загрязняющие вещества с целью повышения их доступности для сообщества микроорганизмов, так и на бактерии и простейшие. Одним из перспективных направлений использования ультразвука в технологии биологической очистки является обработка осадков. Учитывая их сложный многокомпонентный состав и многостороннее действие ультразвука на дисперсные системы сложно прогнозировать результат такой обработки. Поэтому в последнее время выполнено много исследований с целью оценки эффек-

тивности ультразвуковой обработки и поиска условий, обеспечивающих получение требуемого эффекта.

Считается, что процессы деструкции твердой фазы осадков при ультразвуковой обработке обусловлены действием трех механизмов – механохимической деструкции под действием высоких напряжений сдвига, термической деструкции (растворения) гидрофобных веществ осадков, окисляющего действия свободных радикалов, образующихся под действие ультразвука [1].

Характер превращений, которые наблюдаются при ультразвуковой обработке, зависит от трех основных факторов: количества подводимой энергии, частоты ультразвука, состава и свойств осадка. Существенное влияние на достигаемый эффект ультразвуковой обработки оказывает конструкция излучателя и способ обработки осадка. Глубина ультразвуковой дезинтеграции осадков зависит от подводимой энергии, частоты ультразвука, содержания твердых веществ в осадке [2-5].

Основным показателем, который в обязательном порядке учитывается при проведении исследований и принятии решения по использованию ультразвуковой обработки в технологии обработки осадков (как впрочем, и в других случаях) является расход энергии. Энергозатраты оказывают решающее влияние на экономические показатели ультразвуковой обработки и целесообразность ее использования на практике.

В настоящее время не установлены закономерности, которые позволили бы прогнозировать результат ультразвуковой обработки в зависимости от перечисленных факторов. Поэтому эффективность ультразвуковой обработки оценивается по результатам исследований, проводимых на лабораторных и пилотных установках.

Анализ публикаций по ультразвуковой обработке осадков показал, что для получения сравнимых результатов с различными образцами осадков сточных вод в различных условиях используются ряд показателей.

Удельный расход энергии ультразвукового излучения, приходящейся на единицу массы (г, кг) твердых веществ осадка рассчитывается по формуле [1]:

$$S_E = P T / (V TS),$$

где S_E – удельный расход энергии в кДж/кг сухого вещества осадка; P – мощность источника ультразвука (ультраультового излучателя), кВт; T – продолжительность ультразвуковой обработки, с; V – объем

осадка, обрабатываемого ультразвуком, дм^3 ; TS – содержание твердых частиц в осадке кг/дм^3 .

Для обработки осадка в проточной установке время обработки определяется путем деления рабочего объема емкости, в которой обрабатывается осадок, на объемный расход осадка.

Доза ультразвука представляет собой количество энергии ультразвукового излучения, приходящееся на единицу объема осадка (кДж/дм^3). Этот показатель не зависит от концентрации твердых веществ в обрабатываемом осадке.

Плотность ультразвука представляет собой отношение мощности источника ультразвука (ультразвукового излучателя) к объему обрабатываемого осадка и выражается в кВт/дм^3 .

Интенсивность ультразвуковой обработки представляет собой отношение мощности, подводимой к осадку, к площади поверхности преобразователя (конвертора, излучателя) и выражается в Вт/см^2 .

Подходы к выбору режима ультразвуковой обработки суспензии активного ила, которая используется в процессе биологической очистки, и избыточного активного ила несколько отличаются. Ультразвуковая обработка суспензии активного ила, как одна из стадий биологической очистки, должна проводиться таким образом, чтобы в максимальной степени сохранить жизнеспособность микроорганизмов активного ила и минимизировать дополнительную нагрузку на очистные сооружения. При ультразвуковой обработке избыточного активного ила, как правило, стремятся достичь максимальной дезинтеграции биомассы с целью обеззараживания и облегчения ее переработки.

Достижение требуемого эффекта при УЗ-обработке требует подбора определенных условий ее проведения. В связи с этим цель работы состояла в установлении закономерностей изменения состава и свойств фаз суспензии активного ила при УЗ-обработке и выбора ее условий, обеспечивающих получение заданного эффекта.

Для оценки влияния условий ультразвуковой обработки (продолжительность УЗ-обработки, мощность излучателя и амплитуда его колебаний, тип излучателя и др.) на состав фаз иловой суспензии проводили разделение обработанной суспензии на жидкую и твердую фазы центрифугированием (получали фугат и кек) и фильтрованием (получали фильтрат и остаток на фильтре). Жидкую фазу (фугат и фильтрат) анализировали на содержание углеводов, ХПК, БПК, тяжелых металлов (Zn, Ni, Pb, Cu, Cd), фосфатов, азота аммонийного. Для фугата оценивали содержание мелкодисперсных неседиментирующих частиц по оптической плотности при длине волны 540 нм (мутность).

Элементный анализ (содержание С, Н, N, S) проводили как для твердой фракции (кек), отделяемой при центрифугировании, так и фугата после его выпарки и высушивания. Обработанную суспензию использовали для проведения седиментационного анализа (анализа дисперсного состава), микробиологических исследований и определения де-гидрогеназной активности.

Эксперименты повторяли многократно с использованием активного ила, отобранного в различное время на Минской очистной станции аэрации и очистных сооружениях канализации УП «Витебскводоканал». Объектом исследования была суспензия активного ила, отобранная после вторичных отстойников (содержание сухого вещества 6,0–9,9 г/дм³) и после илоуплотнителей (содержание сухого вещества 17,0–25,9 г/дм³) на Минской очистной станции аэрации в период 2001–2012 гг.

Каждую серию экспериментов проводили с использованием иловых суспензий одного и того же состава. Обработку ультразвуком при заданных условиях проводили в течение не более 12-ти часов после отбора проб.

Основными показателями, которые используются для характеристики изменений, происходящих в иловых суспензиях при ультразвуковой обработке, являются дисперсный состав и ХПК жидкой фазы. Изменение ХПК дает представление о степени деструкции (дезинтеграции) биомассы, что важно для последующей анаэробной обработки осадков. При возврате обработанной иловой суспензии на очистку по изменению ХПК можно оценить увеличение нагрузки на очистные сооружения, которое обусловлено дезинтеграцией твердой фазы иловой суспензии. Поэтому во всех сериях экспериментов контроль процесса ультразвуковой обработки производили по вышеуказанным показателям.

Установлено, что переход в жидкую фазу органических веществ (по показателю ХПК) на единицу энергозатрат во всем диапазоне концентраций иловой суспензии увеличивается с увеличением концентрации иловой суспензии. С увеличением мощности излучателя выход продуктов деструкции твердой фазы на единицу затрачиваемой мощности также увеличивается. Увеличение ХПК при увеличении затрат на ультразвуковую обработку в значительной степени обусловлено присутствием частиц размерами более 0,2 мкм. Содержание растворенных и мелкодисперсных частиц (размер менее 0,2 мкм) в жидкой фазе иловых суспензий при расходе энергии до 15 кДж/г (концентрация суспензии больше 17 г/дм³) и до 50 кДж/г (концентрация суспензии до 10 г/дм³) изменяется незначительно.

При энергозатратах до 15 кДж/г наблюдается максимальный переход в водную фазу внеклеточных биополимеров в виде геля, который хорошо флокулирует частицы дисперсной фазы, обеспечивая формирование более плотной структуры осадка (кека) при центрифугировании, что обеспечивает уменьшение показателя мутности фугата по сравнению с необработанной суспензией. Дальнейшее увеличение энергозатрат приводит к более глубокому диспергированию как дисперсной фазы суспензии, так и деструкции биополимерного геля, флокулирующая способность которого снижается. Это приводит к увеличению ХПК и мутности фугата.

В составе жидкой фазы обработанной ультразвуком суспензии активного ила возрастает содержание азотсодержащих соединений. Анализ элементного состава сухого остатка жидкой фракции иловой суспензии, обработанной ультразвуком показал, что отношение C/N для сухого вещества фугата увеличилось после ультразвуковой обработки с 4,04 до 5,26, а для твердой фазы с 5,54 до 5,84. Последнее, вероятно, объясняется преимущественным переходом в жидкую фазу минеральной составляющей иловой суспензии.

Установлено, что содержание углеводов в жидкой фазе иловых суспензий увеличивается от 20 мг/дм³ (концентрация биомассы 6,0 г/дм³) до 77 мг/дм³ (концентрация биомассы 25,9 г/дм³) и почти линейно зависит от энергозатрат на ультразвуковую обработку. Для иловых суспензий различных концентраций выход углеводов в жидкую фракцию составлял от 0,25 до 0,36% от массы твердых веществ иловой суспензии.

Ультразвуковая обработка способствует переходу в жидкую фазу фосфатов, содержание которых в жидкой фазе возрастает более, чем в 5 раз. Рост концентрации фосфатов в основном связан с их переходом в жидкую фазу в составе дисперсных частиц.

Ультразвуковая обработка оказывает влияние на распределение тяжелых металлов между фазами иловой суспензии. Установлено, что содержание цинка, никеля, свинца, меди и кадмия уменьшается в твердой фазе иловых суспензий во всем исследуемом диапазоне концентраций иловых суспензий. Наибольшее снижение наблюдается для цинка 42-71% и свинца (39-67%), наименьшее – для меди (5- 19%) и кадмия (4-16%).

Установлены закономерности изменения илового индекса электрокинетического потенциала иловых суспензий при ультразвуковой обработке. Для улучшения флокулирующих свойств может использоваться ультразвуковая обработка с применением гидродинамического и пьезоэлектрического излучателей при расходе энергии, не превы-

шающем 1490 Дж/г твердой фазы иловой суспензии. Расход обработанной ультразвуком иловой суспензии, обеспечивающей интенсификацию осаждения взвешенных веществ составляет 1-5% об., Очистка от взвешенных веществ во взвешенном слое осадка обеспечивает повышение степени очистки на 30-35%. Расход суспензии активного ила при этом составляет до 10% от объема суспензии, возвращаемой на биологическую очистку после вторичного отстойника.

В жидкой фазе при ультразвуковой обработке увеличивается значение ХПК и увеличивается отношение БПК/ХПК что коррелирует с характеристикой ферментативной активности, о чем свидетельствуют результаты оценки дегидрогеназной активности. Ультразвуковая обработка положительно сказывается на доброкачественности жидкой фракции, так как в раствор переходят ферменты, высокомолекулярные вещества. В результате ультразвуковой обработки следует ожидать повышения клеточной проницаемости и усиление активности ферментов и ряда поверхностно расположенных рецепторов клеток микроорганизмов.

Установленные в работе закономерности изменения состава и свойств фаз суспензии активного ила положены в основу технологических решений по интенсификации процессов биологической очистки с помощью ультразвуковой обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bougrier, C., Delgenes, J.P., Carrere, H., (2005). Solubilisation of waste-activated sludge by ultrasonic treatment. *Chemical Engineering Journal* 106, 163-169.
2. Chu, C.P., Chang, B., Liao, G. S., Jean, D. S., Lee, D. J.. Observations on changes in ultrasonically treated waste- activated sludge. *Water Res.*2001, 35, 1038–1046.
3. Show, K., Mao, Lee, D., (2007). Optimisation of sludge disruption by sonication, *Water Research* 41, 4741 – 4747.
4. Pham, T.T.H., Brar, S.K., Tyagia, R.D., Surampalli, R.Y., (2008). Ultrasonication of wastewater sludge—Consequences on biodegradability and flowability. *Journal of Hazardous Materials* 163, 891–898
5. Xie, B., Liu, H., Yan, Y., (2009). Improvement of the activity of anaerobic sludge. *Journal of Environmental Management* 90, 260-264.)
6. (Müller G, Lehne J, Schwedes J, Battenberg S, Naveke R, Kopp J, Dichtl N, Scheminski A, Krull R, Hempel DC (1998). Disintegration of sewage sludges and influence on anaerobic digestion. *Water Sci. Technol.* 38 (8-9): 425-433).

УДК 628.335.2

В.Н. Марцуль, доц., канд. техн. наук, Н.И. Шепелева, асп.,
В.Н. Фарафонов, доц, канд. техн. наук
(БГТУ, г.Минск)

НОРМИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛЛЮТАНТОВ В ОСАДКАХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ

Состав сточных вод, поступающих на очистные сооружения канализации, формируется производственными и хозяйственно-бытовыми сточными водами. Если состав производственных сточных вод постоянен и изучен достаточно хорошо, то хозяйственно-бытовые сточные воды характеризуются стабильными макропоказателями (БПК, взвешенные вещества и др.), но изменяющимся с течением времени качественным и количественным составом микропримесей, представленных разнообразными органическими веществами, что отражает тенденцию повышения уровня химизации сферы потребления.

В процессах очистки сточных вод значительная часть загрязняющих веществ переходит в осадки. Как правило, в исследованиях не ставится цель получить полную информацию о количественном и качественном составе осадков. Обычно перечень показателей, которые определяются в ходе исследований, выбирается с учетом решаемых задач: определить возможность использования на земле, оценить возможность сжигания при соблюдении требований к составу отходящих газов и др. В некоторых случаях целью исследований было изучение распределения тех или иных веществ между материальными потоками на очистных сооружениях, изучение их превращений (трансформации) в процессе очистки. Учитывая сложность состава осадков, объем полученной информации часто ограничивается возможностями средств измерений. Для выбора направлений использования необходимо располагать полной информацией об их составе, особенно в части содержания опасных для человека и окружающей природной среды веществ.

Основой для принятия решения об использовании осадков являются нормативы, устанавливающие требования к осадкам в зависимости от направлений их использования.

Среди содержащихся в осадках очистных сооружений веществ наибольшую опасность представляют тяжелые металлы и органические загрязнители. Если все вопросы, касающиеся контроля и нормирования содержания тяжелых металлов в осадках в основном решены, то в части органических веществ пока нет единого подхода как к ме-

тодикам контроля их содержания, так и к определению перечня наиболее опасных из них и установлению для них нормативов.

В 80-х годах прошлого столетия выполнено достаточно много исследований по определению содержания органических веществ в осадках. Были идентифицированы более 300 соединений с известными показателями токсичности или с подозрением на их. Из них 42 вещества обнаружены в большинстве исследуемых осадков в количествах от г/кг до мг/кг сухого вещества [1].

На сегодняшний день в осадках определено более 500 синтетических химических соединений. Это химические вещества из лекарственных средств и потребительских товаров, таких как антидепрессанты, стероиды, антипирены, моющие средства, парфюмерия, дезинфицирующие средства и др. [1-2].

Учитывая многокомпонентный состав органических веществ осадков не всегда однозначно можно определить те вещества, которые требуют использования специальных мер контроля и регулирования. Поэтому важнейшим является определение перечня приоритетных веществ, для которых эти меры должны применяться.

Работа по определению списка приоритетных загрязняющих веществ включает:

- идентификацию источников поступления органических поллютантов в осадки сточных вод;
- поиск информации о токсикологических характеристиках (тератогенные, мутагенные, канцерогенные и др. эффекты);
- поиск информации по скорости разложения органических поллютантов в осадках при их обработке, хранении, в почве и др.;
- оценку риска для различных путей поступления загрязняющих веществ к человеку и другим реципиентам.

По результатам разработки рабочего документа по осадкам («Working document on sludge» EU 2000 [3], предлагается нормировать содержание в осадках, подлежащих использованию, галогенированных органических соединений (сумма галогенированных органических соединений, которые адсорбируются активированным углем), линейных алкилбензолсульфонатов (анионоактивных ПАВ), ди (2-этилгексил) фталата, нонилфенола и нонилфенолэтоксилатов, полициклических ароматических соединений, полихлорированных бифенилов, диоксинов (полихлорированных дибензодиоксинов и полихлорированных дибензофуранов). Предлагаемые нормативы для первых пяти поллютантов составляют 500, 2600, 100, 50, 6, 0,8 мг/кг сухой массы осадка соответственно. Для диоксинов – 100 нг/кг в эквиваленте токсичности (в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензодиоксин).

Предлагаемые в документе нормативы в настоящее время не введены в действие в странах ЕС по причине наличия расхождений в методах их обоснования, принятых в различных странах. В Дании, Швеции, Австрии и Германии в осадках нормируется содержание отдельных из упомянутых загрязняющих веществ.

Не решены вопросы надежного аналитического контроля органических поллютантов, содержащихся в осадках. Введение предлагаемых нормативов может значительно уменьшить объемы осадков, которые в настоящее время используются для рекультивации нарушенных земель и по другим направлениям. Это потребует поиска других вариантов использования, которые могут быть связаны со значительным воздействием на окружающую среду.

Приведенный перечень органических поллютантов не является исчерпывающим. В последнее десятилетие наблюдается большой интерес к информации о содержании лекарственных средств в осадках сточных вод. Накопленной в настоящее время информации недостаточно для оценки возможного влияния этих компонентов осадков на почвенную биоту и водные объекты, прогнозирования поведения при различных вариантах обработки осадков.

Для Беларуси, учитывая большие объемы накопленных осадков и минимальное их использование, разработка требований к осадкам в зависимости от направлений их использования имеет первостепенное значение. Как уже отмечалось, отправной точкой для разработки таких требований является информация о составе осадков. Однако обследование очистных сооружений с определением состава осадков в республике не проводилось. Осадки не являются объектами аналитического контроля, который обязаны вести субъекты хозяйствования.

На кафедре промышленной экологии БГТУ проведены исследования состава осадков очистных сооружений канализации ряда городов республики, определено содержание тяжелых металлов, азота, фосфора и других показателей, необходимых для выбора вариантов использования данных отходов.

Исследование содержания отдельных органических поллютантов в осадках очистных сооружений канализации, показало, что, наряду с анионоактивными (до 60 мг/кг) в них присутствуют и катионоактивные ПАВ (до 30 мг/кг). Учитывая то, что объемы производства и потребления катионоактивных ПАВ растут, следует ожидать увеличения их содержания в осадках и учитывать при определении пригодности осадков для использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ellen Z. Harrison, Summer Rayne Oakes, Matthew Hysell and Anthony Hay. Organic chemicals in sewage sludges.–Science of the Total Environment. 2006, 367: p.481-497.

2. Chad A. Kinney et al. Survey of Organic Wastewater Contaminants in Biosolids Destined for Land Application. Environmental Science and Technology, 2006, 40, p. 7207-7215.

3. Working document on sludge” (EU 2000)
http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/sludge_en.pdf

УДК 628.355

Е.В. Марцунь¹, инженер, магистр; Лелум Манамперума², асп.;
Харша Ратнавеера², проф.

(¹БГТУ, г. Минск, ²Норвежский университет естественных наук, г.Ос, Норвегия)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФОСФАТОВ И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОСАДКОВ

Фосфор является важнейшим биогенным элементом, наличие которого в достаточном количестве обеспечивает нормальную жизнедеятельность всех живых организмов. Однако повышенное содержание соединений фосфора в естественных водных объектах, вызванное сбросом неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод, является причиной эвтрофикации [1], которая является одной из актуальных проблем охраны окружающей среды.

В настоящее время на большинстве очистных сооружений Норвегии удаление фосфатов ведется методом химической коагуляции. Данный метод обеспечивает высокую степень удаления фосфатов и гарантирует эффективную очистку сточных вод различного состава [2]. Высокая эффективность очистки достигается корректировкой дозы вводимого коагулянта в зависимости от качества поступающей на очистку сточной воды, что обычно требует больших расходов коагулянта. Использование высоких доз коагулянтов существенно ухудшает качество получаемого осадка и делает проблематичным его дальнейшее использование в сельскохозяйственных целях. Фосфор, содержащийся в таких осадках, которые вывозятся на захоронение, безвозвратно теряется.

Учитывая то, что запасы фосфорсодержащих минералов ограничены, все большую актуальность приобретают исследования, в которых осадки сточных вод рассматриваются как источник этого ценного элемента [3; 4]. Наиболее часто реализуемый подход – это пере-

вод фосфора, содержащегося в осадке в виде нерастворимых соединений в доступную форму путем дополнительной обработки полученного осадка.

Главным отличием подхода, реализованного в данной исследовательской работе, является использование катионных полимеров (флокулянтов) для частичного замещения коагулянтов и, как следствие, сокращения требуемой дозы коагулянта, что позволяет получать осадок более высокого качества.

Исследования проводили на модельных и реальных сточных водах, которые отбирали на очистных сооружениях города Lillestrøm. Состав модельных вод отличался содержанием взвешенных веществ и фосфатов. Для экспериментов на реальной сточной воде отбирали воду после биофильтров перед входом во вторичный отстойник.

В работе использовали коагулянты Kemira ALS ($AlSO_4$), Kemira PAX XL-61 (преполимеризованный алюминиевый коагулянт) и Kemira PIX-18 ($FeClSO_4$). Диапазон варьирования доз включал дозы ниже оптимальной, оптимальную и выше оптимальной. Оптимальные дозы для каждого коагулянта определили в ходе предварительных исследований. Дозу коагулянта пересчитывали на железо и алюминий.

В качестве флокулянтов использовали органические катионные полимеры FO 4350 и FO 4240 со средней и низкой плотностями заряда соответственно. Дозы флокулянтов изменяли в диапазоне 1 – 5 мг/дм³. Коагуляцию проводили при значениях pH ($6,0 \pm 0,2$) и ($7,5 \pm 0,2$).

Исследования проводили с использованием коагуляционной установки Kemira Flocculator 2000. Применяли совместный и последовательный типы дозирования коагулянта и флокулянта. Эффективность процесса очистки контролировали по изменению содержания взвешенных веществ (ВВ) и общего фосфора (ОФ). Планирование экспериментов проводили с помощью программы UNSCRAMBLER. В работе использовали два варианта дозирования реагентов: совместное, когда коагулянт и флокулянт вводили в сточную воду одновременно; последовательное, когда вначале вводили флокулянт и после отделения образующегося осадка дозировали коагулянт.

В ходе экспериментов выявили существенные различия в результатах, полученных при совместном и последовательном дозировании.

Результаты, полученные при совместном дозировании коагулянтов ALS и PIX-18 и катионных полимеров, четко показывают различие в эффективностях очистки, достигнутых с использованием катионных полимеров и без них. Хотя величина различия отличалась

для каждого типа модельной воды, зависимости, описывающие степени удаления ОФ и ВВ, имели сходный характер.

Как показано на рисунке, при низких дозах коагулянта ALS наибольшая эффективность очистки достигнута при использовании флокулянта с дозой 3 мг/дм³ и 5 мг/дм³. Например, 80%-ная степень очистки по ОФ достигается при дозе 12 мг/дм³ А1, а также при дозе 7 мг/дм³ А1 в комбинации с 5 мг/дм³ флокулянта или 8 мг/дм³ А1 и 3 мг/дм³ флокулянта. Это свидетельствует о том, что использование композиций неорганического коагулянта и флокулянта может существенно снизить требуемую дозу коагулянта без ухудшения эффективности очистки.

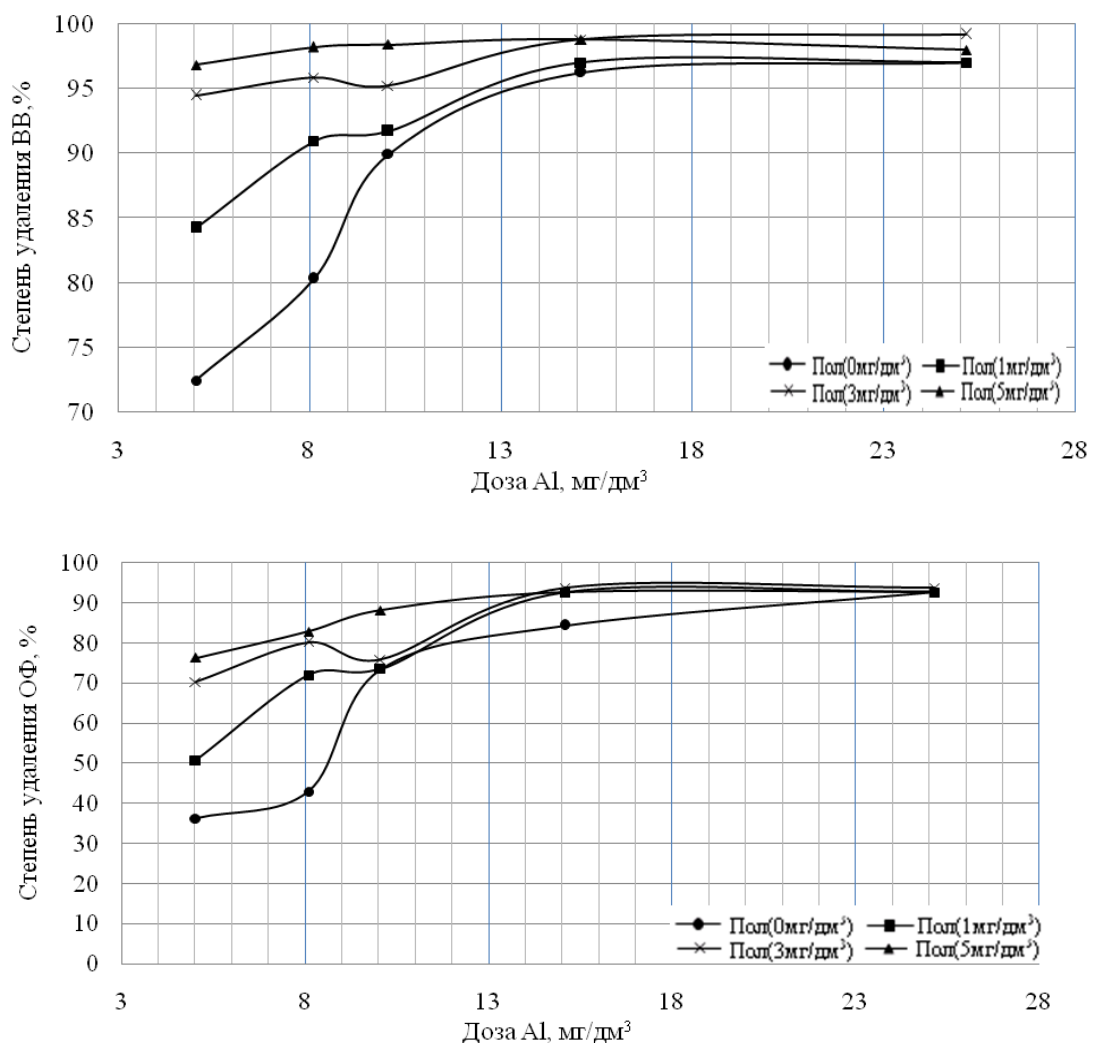


Рисунок – Влияние катионного полимера и дозы ALS на степень удаления ВВ (верхний график) и ОФ (нижний график) из модельной сточной воды при значении рН 7,5.

В данном случае требуемая доза коагулянта может быть снижена в 1.7 раза, если коагулянт использовать вместе с флокулянтом. Однако, при увеличении дозы коагулянта положительное влияние флокулянта становится незначительным.

При использовании РАХ XL-61 влияние флокулянтов было незначительным во всем исследуемом диапазоне доз коагулянта. Увеличение степени очистки составляло не более 5–7% для использованных доз флокулянта.

Такие различия между коагулянтами сохранялись для всех используемых флокулянтов. Причем существенных различий в степенях очистки, достигаемых при использовании флокулянтов разных типов, не выявлено. Такой же результат был получен при использовании последовательного дозирования коагулянтов и флокулянтов

Влияние флокулянтов на степень удаления ВВ и ОФ при последовательном и совместном дозировании коагулянтов и флокулянтов иллюстрируют данные таблицы.

В таблице приведены значения, показывающие, насколько флокулянты при использовании с коагулянтами увеличивают эффективность очистки по сравнению с только коагулянтом.

Таблица – Увеличение степени очистки (%) при использовании флокулянта с коагулянтом в сравнении с использованием только коагулянта

Содержание в модельной воде, мг/л		Увеличение степени очистки по	Доза коагулянта, мг Al/дм ³					
			при совместном дозировании			при последовательном дозировании		
ВВ	ОФ		5	8	10	5	8	10
500–600	9–10	ВВ	25	24	9,3	5,3	3,5	8,3
		ОФ	41	35,5	11,2	1,8	4,4	4,7
500–600	6–7	ВВ	24,4	18	9,4	19,2	3	
		ОФ	40	40	14,6			2
500–600	3–5	ВВ	33	22,6	7,1	6,8	5,7	4,6
		ОФ	46,5	39,5	12		19,4	4,2
300– 400	6–7	ВВ	3,8	4,7	3,4		2	
		ОФ	7,1	16,2	6,3			
300– 400	3–5	ВВ	4,9	4,3	6,4	3,8	5	4,1
		ОФ	12,3	20,6	4,5	1,3	8	3,6
100–200	3–5	ВВ	5	4,7	7,5	4,4	4,9	6,4
		ОФ	8,9	5,6	8,2	19,6	13	12,4

При использовании совместного дозирования и дозах коагулянта 5 и 8 мг/дм³, добавление флокулянта увеличивало степень очистки до 46,5%. При этом в полученном осадке молярное соотношение Al:P уменьшается в 1,86 раза в сравнении с использованием коагулянта. Значительное влияние флокулянтов на степень очистки наблюдалось

при обработке модельных вод с содержанием взвешенных веществ 500 – 600 мг/ дм³ и общего фосфора 3 – 10 мг/дм³. При содержании взвешенных веществ 100 – 400 мг/дм³ существенных отличий для совместного и последовательного дозирования реагентов не установлено.

Эксперименты на реальных сточных водах подтвердили результаты, полученные с использованием модельных вод. Частичное замещение коагулянта катионным флокулянтom уменьшает дозу коагулянта, требуемую для достижения заданной степени очистки. При этом существенно уменьшается содержание алюминия в осадке, что создает предпосылки для использования его в качестве удобрения.

Таким образом, совместное дозирование коагулянта и флокулянта является предпочтительным в сравнении с последовательным и может использоваться для улучшения характеристик осадков и их последующего использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mainstone, C.P., Parr, W Phosphorous in rivers – ecology and management / Mainstone,C.P., Parr, W. // Science of The Total environment. – 2002. – Vol. № 282 –283.– P.25 – 47.

2. Ebeling, J.M. Evaluation of chemical coagulation – flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorous from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. /Ebeling, J.M. // Aquacultural Engineering. – 2003. – Vol. № 29. – P. 24 – 43.

3. Cordell, A., White, D. Peak Phosphorous: Claryfying the Key Issues of a Vigorous Debate about Long-Term Phosphorous Security / Cordell, A., White, D // Sustainability. – 2011. – Vol. №3. – P. 2027 – 2049.

4. Cassidy, S. Recovery of valuable products from municipal wastewater sludge/ Cassidy, S. // Chemical water and wastewater treatment. – 1998. – Vol. №2. – P. 339 – 345.

УДК 628.355

О.В. Нестер, инженер II кат.; Р.М. Маркевич, доц., канд. хим. наук,
М.В. Булицкая, студ.; Ю.Е. Авласевич, студ.
(БГТУ, г. Минск)

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО АЭРОБНОГО АКТИВНОГО ИЛА

Развитие современных биотехнологий очистки сточных вод направлено на повышение эффективности и стабильности биологиче-

ской очистки при увеличении окислительной мощности очистных сооружений, а также снижение капитальных и эксплуатационных затрат [1]. Существенным недостатком аэробной очистки сточных вод является высокий прирост биомассы и образование большого количества избыточного активного ила, обезвоживание которого требует энергетических затрат, а его депонирование наносит ущерб окружающей среде. Актуальным решением этой проблемы является использование гранулированного аэробного активного ила.

Основное технологическое отличие гранулированного активного ила от обычного – в размерах частиц, плотности и скорости оседания. Использование данного ила позволит увеличить нагрузки на единицу объема сооружения за счет повышенных концентраций гранулированного активного ила без ухудшения качества очистки сточных вод, улучшить седиментационные свойства во вторичном отстойнике, фильтрационные свойства ила при его обезвоживании, снизить образование избыточной биомассы, уменьшить вспухаемость и пенообразование в аэротенке [2,3].

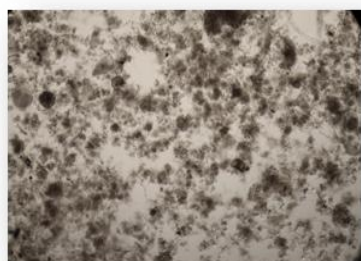
В настоящее время исследования по получению гранул аэробного активного ила ведутся в лабораторных условиях или на пилотных установках с использованием в качестве субстрата для микроорганизмов сточных вод либо модельных растворов.

Авторы [4,5] исследовали процессы, приводящие к формированию и поддержанию стабильности гранул аэробного активного ила, выращенного на модельном бытовом стоке в отъемно-доливном режиме. Наблюдения показали, что гранулы в своем развитии проходят 5 стадий: увеличение биомассы; агрегация свободной биомассы в среде; уплотнение хлопьев и принятие округлой формы, образование первых гранул; укрупнение гранул; распад крупных гранул на более мелкие. Начало последней стадии может спровоцировать резкое изменение ХПК среды, рН, степени аэрации, добавление ионов Mn^{2+} . В среднем, эта стадия наступает через 50–100 сут. с момента образования первых гранул. На основании вышеперечисленного сделан вывод, что гранула является в некотором роде «реактором», в котором взаимодействуют гетеротрофные бактерии, грибные культуры, бактериинитрификаторы и денитрификаторы. Видовой состав гранул весьма разнообразен и зависит от многих факторов, в том числе и от субстрата, на котором происходило формирование гранул. Средний диаметр аэробных гранул изменяется в диапазоне от 0,2 до 5 мм. Скорость осаждения аэробных гранул связана с размерами и структурой гранул и может достигать 30–70 м/ч, в то время как для хлопьев активного ила этот показатель находится в пределах от 5 до 18 м/ч.

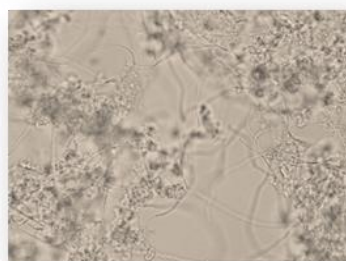
В ходе исследований подобраны благоприятные условия для формирования гранул: процесс циклического (периодического) действия; восходящий поток сточной воды; ограниченное время для седиментации; достаточная аэрация среды; уровень ХПК до 7000 мг/дм³; рН среды 7,0–8,5; отсутствие повышенного содержания микроэлементов в среде; голодание после пиковой нагрузки. Наличие гранул ускоряет процесс образования новых, при этом уменьшается количество диспергированных микроорганизмов [4, 5].

Целью данной работы является подбор условий для формирования и поддержания в активном состоянии стабильных гранул аэробного активного ила при использовании в качестве субстрата городских сточных вод и сточных вод молочного производства. Объектами исследования послужили активный ил и сточные воды на выходе из первичного отстойника городских очистных сооружений (рис. 1а) (исследование начато 12.02.2013г.), а также активный ил и сточные воды молочного производства (рис. 1б) (исследование начато 07.10.2014г.).

Исходную смесь готовили следующим образом: активный ил переносили в мерный цилиндр, отстаивали в течение 7 мин., сливали 60–70 мл надосадочной жидкости, доводили объем смеси до рабочего объема (100 мл) новой порцией сточных вод, переносили в коническую колбу объемом 250 мл. С целью формирования гранул аэробного активного ила иловую смесь инкубировали на шейкере Environmental Shaker-Incubator ES-20 при рабочей частоте 140 мин⁻¹. Температура поддерживалась в пределах 20–25°C, рН 6,8–8,5. Выбран отъемно-доливной режим инкубирования, подпитка проводилась 1 раз в 4 сут. При формировании гранул из активного ила очистных сооружений молочного производства в пробы добавили активированный уголь.



а



б

а – исходный активный ил из городских очистных сооружений;
б – исходный активный ил из очистных сооружений молочного производства.

Рисунок 1 – Хлопья исходного активного ила (x400)

В ходе эксперимента было отмечено улучшение седиментационных характеристик ила по сравнению с первоначально взятым ак-

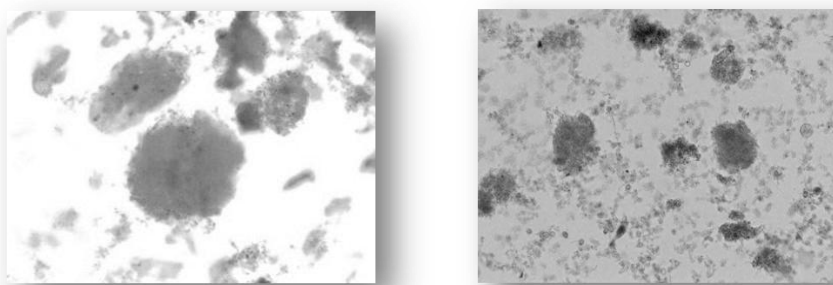
тивным илом. На протяжении месяца активный ил приобретал более плотную структуру, его объем после отстаивания в течение 7 мин постоянно снижался (табл.1).

Таблица 1. Объем отстоявшегося активного ила, мл

Продолжительность инкубирования, сут.	Объем отстоявшегося активного ила, мл		
	Активный ил городских очистных сооружений	Активный ил очистных сооружений молочного производства	
		без добавления активированного угля	с добавлением активированного угля
3	43	93	73
7	30	72	65
11	28	38	38
15	25	30	40
19	24	25	30
23	21	14	24
27	22	9	22
31	15	7	14

В течение всего времени проведения эксперимента в условиях подпитки низкоконтрированными сточными водами под воздействием гравитационной селекции и соответствующего кислородного режима хлопья активного ила постепенно претерпевали морфологические изменения: они уплотнялись, приобретали более упорядоченную, округлую форму, края хлопьев становились более ровными (рисунок 2).

В ходе исследования гранулы аэробного активного ила удалось получить лишь в образцах, в которых соблюдались условия периодического голодания активного ила. Из этого можно сделать вывод, что режим периодического голодания ила, является важным фактором для процесса аэробного гранулообразования.



а – гранулы, сформированного из активного ила городских очистных сооружений (начало эксперимента 12.02.2013 г.); **б** – уплотненные хлопья активного ила очистных сооружений молочного производства (начало эксперимента 07.10.2014 г.)

Рисунок 2 – Уплотненные хлопья активного ила (x400)

После формирования устойчивых гранул на городских стоках был выбран 7 дневный режим голодания. Размер гранул активного ила

составляет 0,4 – 0,6 мм (рис. 2а).

В результате исследования были подобраны частота вращения шейкера (140 мин⁻¹), режим питания, в результате чего происходило уплотнение хлопьев активного ила и наблюдалось улучшение его седиментационных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1 Исследование гранулированного активного ила для очистки коммунальных сточных вод / А.В. Акментина // Водные ресурсы и водопользование. – 2011. – № 10. – С. 35–38.

2 Исследование грануляции активного ила при воздействии агентов стресса в отъемно-доливном процессе аэробной биологической очистки / Н.С. Хохлачев [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – т. 14. – №5(3). – С. 853–856.

3 Гранулированные илы в очистке городских сточных вод / С.В. Храменков [и др.] // Вода. – 2013. – № 2. – С. 2–4.

4 Microbial composition of aerobic granular sewage biofilm / J. Fried, W. Ludwig // Water Science Technology. – 2003. – №51. – P. 438–450.

5 Aerobic Granulation in Sequencing Batch Reactors / Yu Liu, Zhi-Wu Wan // Wasterwater Purification [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://eprints.soton.ac.uk/id/eprint/351887>. – Дата доступа: 03.11.2014г.

УДК 628.355.2

М. В. Рымовская, ст. преп.; О. В. Федюк, студ.; Э. А. Харченко, студ.
(БГТУ, г. Минск)

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ И СПОСОБЫ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ДЕГИДРОГЕНАЗНОЙ АКТИВНОСТИ ИЛА ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рост городов, развитие промышленности, широкое использование в быту и на производстве синтетических веществ химического происхождения, государственная политика экономии питьевой воды приводят к поступлению на биологические очистные сооружения городов более концентрированных по загрязнениям органического и неорганического происхождения сточных вод. Более того, неуклонно возрастает доля загрязнений, нехарактерных для природной среды, поэтому часто скорость их утилизации микроорганизмами активного ила низка либо они оказывают

негативное влияние на биоценоз активного ила в целом. Качественное и количественное изменение состава сточных вод по загрязнениям приводит к тому, что хорошо работавшая еще 20-40 лет назад классическая система биологической очистки «аэротенк-вторичный отстойник» нуждается в пересмотре режимов работы, в том числе должны разрабатываться системы контроля работы активного ила на клеточном уровне.

Эффективность биологической очистки сточных вод определяется состоянием активного ила. Наиболее простым способом оценки активности ила очистных сооружений является химический анализ сточной воды, на основании которого можно судить о возможной степени очистки сточных вод данного состава, а также о наличии благоприятных условий для жизнедеятельности организмов используемого ила. Однако химические методы не отражают характер действия загрязнителей в зависимости от факторов среды и не учитывают эффекты синергизма при действии нескольких загрязнителей. Дополнение химического анализа воды определением иловых показателей (в частности, илового индекса) с выполнением бактериологического и гидробиологического анализов позволяет получить более полную картину. При одинаковой биомассе ил может иметь не только резко отличающиеся количества бактериальных клеток, но и их биохимическую активность, поэтому даже совокупность этих видов анализа не позволяет получить полного представления об активности ила и скорости окисления загрязнений, а значит, и об эффективности биологической очистки сточных вод.

Перспективным методом оценки работы очистных сооружений является использование биохимических показателей интенсивности жизнедеятельности активного ила. Наиболее универсальным является определение дегидрогеназной активности ила (ДАИ). Анализ существующих на настоящий момент методик [1, 2, 3, 4] показал необходимость оптимизации условий проведения анализа ДАИ и введение ограничений его применимости. Также актуален вопрос о способе оценки результатов анализа, поскольку они также различаются в разных представленных методиках.

Объектом исследования являлся активный ил аэробных очистных сооружений г. Минска, в частности – его дегидрогеназная активность. В экспериментах использовали иловую жидкость (ИЖ) из последней четверти четвертого коридора первого аэротенка и отстаивающую в первичном отстойнике городскую сточную воду (СВ) Минской очистной станции первой очереди (МОС-1). Анализ проводился через 1,5-2 часа после отбора проб. Отбор проб проводили в одно и то же время суток в период февраль – апрель 2014 г. За основу была взята методика анализа ДАИ, описанная в [1].

Было изучено влияние на величину ДАИ таких параметров, как продолжительность термостатирования, рН и температура ферментативной реакции, а также время, прошедшее между отбором проб и началом эксперимента. На основании полученных результатов предложено готовить пробы без корректировки рН, выдерживать их в течение 30 мин при температуре 20°C, при этом важным условием является проведение анализа не позднее чем через 30 мин после отбора иловой жидкости и сточной воды. Предложен способ учета возможности протекания химических реакций между компонентами сточной воды и используемым в качестве субстрата реактивом, а также целевым продуктом ферментативной реакции, что позволяет избежать использования методики в некорректных условиях. Также учитывалось влияние цветности воды на величину ДАИ, предусмотрена возможность оценки промежуточных результатов исследования.

Дегидрогеназная активность в [2] выражается в миллиграммах ТФФ на 1 л смеси (общая активность), или на 1 г сухого вещества ила (удельная активность). Соотношение между величинами ДАИ иловой жидкости, ДАИ с водопроводной водой и ДАИ со сточной (либо биологически очищенной) водой характеризует основные этапы процесса очистки сточных вод: полноту очистки сточных вод, степень регенерации активного ила и аэробной стабилизации активного ила. В [1] предлагалось выражать показатель ДАИ в процентах по отношению к контролю (вместо сточной воды в эксперименте использовалась водопроводная вода). Для учета влияния на ил загрязнений, вносимых сточной водой, величину ДАИ удобно рассчитывать в относительных единицах по отношению к загрязнениям, содержащимся в водопроводной воде ($ДАИ_{отн}$):

$$ДАИ_{отн} = (ДАИ_{св} - ДАИ_{вв}) / ДАИ_{вв} \quad (1)$$

где $ДАИ_{св}$ – удельная дегидрогеназная активность ила по сточной воде, мг ТФФ/г ила; $ДАИ_{вв}$ – удельная дегидрогеназная активность ила по отстоянной водопроводной воде, мг ТФФ/г ила.

Поскольку в эксперименте используется одна и та же иловая жидкость, то доза ила по массе сокращается при вычислении показателя $ДАИ_{отн}$, поэтому определение иловых показателей в этом случае не требуется.

Проводились экспериментальные исследования по изучению влияния трех основных групп загрязнителей (тяжелых металлов, поверхностно-активных веществ и дезинфектантов) при их моно- и совместном воздействии на дегидрогеназную активность ила. В качестве объектов исследования использовали распространенные в быту дезинфицирующие средства (содержали в качестве действующих веществ пероксид водорода, гипохлорид натрия, смесь муравьиной и серной кислот), источники анионных, катионных и неионогенных по-

верхностно-активных веществ, а также растворы тяжелых металлов (содержали ионы меди, железа и цинка двухвалентных по отдельности), которые вносились в смесь «сточная вода-иловая жидкость».

Для изучения влияния индивидуальных загрязнителей снижение значения дегидрогеназной активности по сточной воде оценивали по разности дегидрогеназной активности по сточной воде без внесения дополнительных загрязнителей и с внесением их, выраженной в процентах (Δ , %):

$$\Delta = (\text{ДАИ}_{\text{отн}} - \text{ДАИ}_{\text{отн+загр}}) \cdot 100 \quad (2)$$

где $\text{ДАИ}_{\text{отн}}$ – дегидрогеназная активность ила по сточной воде без внесения дополнительных загрязнителей, отн. ед.; $\text{ДАИ}_{\text{отн+загр}}$ – дегидрогеназная активность ила по сточной воде с внесением дополнительных загрязнителей, отн. ед.

Ингибирующее влияние на дегидрогеназную активность ила индивидуальных загрязнителей или промышленных сточных вод предложено устанавливать по 20% снижению ДАИ относительно бытовой сточной воды [1, 5].

Предложенный способ оценки результатов позволяет установить токсическое влияние отдельных загрязнителей как индивидуально, так и в составе промышленных сточных вод на состояние активного ила, а следовательно – и на протекание процесса биологической очистки. Метод может быть использован при проектировании и реконструкции очистных сооружений в городах с крупными производствами, для оценки токсикогенной нагрузки от каждого предприятия, сбрасывающего сточные воды в городскую канализацию, что дает возможность ранжировать предприятия по степени интегральной опасности для систем городской канализации и биологической очистки с учетом токсичности вносимых в канализацию сточных вод, а также их объемов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Методическое руководство по контролю процесса биологической очистки городских сточных вод: учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-570103 «Биоэкология» / Р. М. Маркевич [и др.]. – Минск: БГТУ, 2009. – 161 с.

2 Инструкция по лабораторному контролю очистных сооружений на животноводческих комплексах. Часть III / [Электронный ресурс]// Режим доступа: <http://law.rufox.ru/view/9/2443.htm>. - Дата доступа: 12.15.2014.

3 Экспресс-метод для контроля работы биологических очистных сооружений / [Электронный ресурс]// Режим доступа: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=4383.- Дата доступа: 12.15.2014.

4 Способ количественного определения дегидрогеназной

активности микроорганизмов: пат. 2476598 РФ, МПК С12Q1/32/ Д.Г. Чухчин, П.А. Тупин; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северный (Арктический) федеральный университет». – № 2011116872/10; заявл. 27.04.11; опубл. 10.11.12/[Электронный ресурс]// - Дата доступа: 27.10.2013. Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/247/2476598.html>.

5 Галеева, Г.Р. Совершенствование биотехнологии и контроля очистки сточных вод предприятий химического и нефтехимического комплекса: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 03.00.23 / Г.Р. Галеева; Башк. гос. ун-т. – Уфа, 2000. – 24 с.

УДК 676.088

А.В. Лихачева, доц., канд. техн. наук, Ю.Н. Шемет, студ.
(БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОАКТИВАТОРОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ БИОКОМПОСТИРОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Биокомпостирование является наиболее эффективным способом переработки осадков сточных вод, так как конечный продукт – компост, в дальнейшем может быть использован для удобрения почв, а также как почвоулучшающая добавка, материал при рекультивации нарушенных ландшафтов, компонент почвогрунта, изоляционного материала на полигонах ТКО. Но существенным недостатком данного метода является длительность проведения процесса. Одним из направлений усовершенствования технологии биокомпостирования с целью ускорения процесса является введение в компостируемую смесь биоактиваторов.

В работе изучен процесс биокомпостирования осадков сточных вод РУП «Завод газетной бумаги», содержащие в своем составе значительное количество волокнистых материалов, которые относятся к трудноразлагаемым органическим веществам.

Целью данной работы являлось исследование влияния различных биоактиваторов на интенсивность биокомпостирования осадков сточных вод РУП «Завод газетной бумаги».

В качестве биоактиваторов использовались:

а) отходы пивоваренного производства:

– кизельгур (диатомит, инфузорная земля, горная мука, цеолит) – это осадочная горная порода, состоящая преимущественно из останков диатомовых водорослей – группы одноклеточных и колониальных

водорослей, отличающихся наличием у клеток своеобразного «панциря», состоящего из диоксида кремния. Используется как вспомогательное фильтрующее средство при фильтрации пива;

– пивная дробина – это гуща, остающаяся после варки и отсасывания ячменного сусла. Содержит частицы ядер и оболочки зерна;

– отработанные пивные дрожжи – это побочный продукт пивоваренного производства;

б) отход производства лекарственного препарата из женьшеня – представляет собой растительный материал с чётко выраженным специфическим запахом;

в) каныга – содержимое желудка жвачных животных. Полужидкая масса зеленоватого цвета, состоящая из частиц непереваренного корма. Каныгу извлекают при разделке туш как побочный продукт убоя животных.

г) товарные продукты:

– биоактиватор «Тамир»;

– биоактиваторы «Уборная сила», «Счастливый дачник», «Компостелло», «Доктор Робик»;

– биокомпостин «Счастливый дачник».

На предварительном этапе исследования определяли влажность, зольность, гранулометрический состав и другие характеристики исходных материалов: осадков сточных вод, коры, биоактиваторов.

Второй этап заключался в смешении исходных компонентов в рассчитанных количествах и получении компостируемых смесей.

Проведение процесса биокомпостирования, осуществлялось на третьем этапе, при поддержании необходимых условий протекания процесса:

– влажность 65-75 %;

– регулярная аэрация;

– температура не менее 25-30 °С;

– время протекания процесса биокомпостирования 6 месяцев.

На заключительном четвертом этапе проводился анализ полученных компостов

Все исследуемые характеристики сопоставлялись с требованиями нормативно-правового акта: ГОСТ Р 54534-2011 «Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель».

Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты определения качества полученных компостов

Проба	Зольность, %	рН	Азот нитратный, МГ/КГ КОМП	ХПК, МГ О ₂ /КГ КОМП.	Р ₂ О ₅ , %	Дыхание компоста, МГ/(ДМ ² ·Ч)	Целлюлолитическая активность, МГ/Л	Фитотоксичность (по росткам пшеницы)		
								фитомасса, см	корневая система, см	сухая масса, г
1 ОСВ + кора	39,5	7,23	900	296,32	0,0098	0,02422	–	5,2	2,6	0,226
2 ОСВ + кора + БА «Тамир»	37	7,89	6210	12,128	0,0128	0,0218	0,11	3,21	1,72	0,165
3 ОСВ + кора + БА «Уборная сила»	39,9	6,62	6212	281,5	0,0036	0,0233	– 0,5	3,7	1,98	0,179
4 ОСВ + кора + БА «Счастливый дачник»	38,6	8,07	2500	160	0,0046	0,02467	– 0,17	11,57	5,44	0,379
5 ОСВ + кора + БК «Счастливый дачник»	34,3	6,78	6211	364,0	0,013	0,0244	0,14	2,7	2,4	0,133
6 ОСВ + кора + БА «Компостелло»	40,8	6,96	6201	420,96	0,0064	0,020	– 0,05	10,1	6,5	0,395
7 ОСВ + кора + БА «Доктор Робик»	36,4	6,86	2400	646,7	0,017	0,02489	0,11	10,4	5,5	0,324
8 ОСВ + кора + пивные дрожжи	32,7	5,99	6202	465,408	0,029	0,0216	0,83	3,088	2,77	0,163
9 ОСВ + кора + кизельгур	44,8	6,77	14700	324,3	0,0036	0,01288	– 0,14	5,7	3,1	0,238
10 ОСВ + кора + пивная дробина	40,0	6,89	39100	99,68	0,0164	0,0102	0,11	3,5	1,6	0,145
11 ОСВ + кора + каньга	43,7	7,11	11000	107,2	0,0106	0,020	0,17	8,89	4,47	0,332
12 ОСВ + кора + отход производства лекарственных препаратов	45,0	6,75	15500	646,6	0,016	0,0253	0,72	12,5	6,06	0,393

Примечания: ОСВ– осадок сточных вод; БА–биоактиватор; БК–биокомпостин.

Исследования показали, что наибольшая зольность наблюдалась в компосте с отходом производства лекарственного препарата из женьшеня 45,0 %. Данный показатель вырос на 11,2 % по сравнению с исходной смесью, приготовленной для компостирования, не содержащей биоактиватор. Это говорит о том, что в данной пробе процесс биокомпостирования протекает наиболее быстро. Однако при закладке материала в нарушенные ландшафты, кроме компоста, необходимо использовать компонент, который увеличивал бы зольность закладываемой смеси до 65 %, например минеральную фракцию уличной подметы, золу и другие.

Показатели рН, содержание азота, ХПК всех компостов удовлетворяют требованиям ГОСТа. А массовая доля фосфора в компостах меньше, чем требуется по ГОСТу. Поэтому содержание фосфора в компостах необходимо регулировать, используя фосфорсодержащие удобрения, например, суперфосфат и другие. Учитывая то, что компост может использоваться в качестве почвоулучшающей добавки, в работе использовали такой оценочный показатель как «дыхание» почвы. Результаты исследований показали, что «дыхание» почвы увеличивается при внесении в нее компостов, полученных при использовании в качестве биоактиваторов отхода производства лекарственного препарата из женьшеня, товарных продуктов биоактиваторов «Счастливый дачник» и «Доктор Робик».

Эффективность применяемых биоактиваторов также оценивали по показателю целлюлолитической активности. Как видно из полученных результатов, наибольшая целлюлолитическая активность наблюдалась в пробах с пивными дрожжами, с отходом производства лекарственного препарата из женьшеня, с товарным продуктом биокомпостином «Счастливый дачник». Т.е. сообщество микроорганизмов в этих пробах в большей степени способно разрушать целлюлозосодержащие компоненты отходов.

Оценка фитотоксичности (по росткам пшеницы) показала, что пробы компостов, полученных при использовании таких биоактиваторов как товарные продукты: «Тамир», «Уборная сила», биокомпостин «Счастливый дачник», а также отходов пивоваренного производства отработанных пивных дрожжей, дробины оказывают угнетающее действие на растения. А биоактиваторы «Компостелло», «Счастливый дачник», отход производства лекарственного препарата из женьшеня способствуют увеличению биомассы растений.

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что все полученные компосты могут использоваться при биологической рекультивации земель. Также компосты могут использоваться и для технической рекультивации, в смеси с минеральными отходами, обеспечивающие увеличение зольности состава

для рекультивации до 65%.

В Республике Беларусь на сегодняшний день опыт по реализации мероприятия такого плана отсутствует. Однако анализ научно-технической литературы, проведенные нами исследования показали, что полученный компост и состав для рекультивации на его основе по своим характеристикам близки к природным материалам, т.е. представляют собой вещества, свойственные окружающей среде.

УДК631.811; 66.022.372.07

З.В. Буко, магистрант, А.В. Лихачева, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г.Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДА ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФА В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

Среди существующих в настоящее время методов очистки сточных вод наиболее перспективным представляется сорбционный. Процессы адсорбции широко используются в различных областях химической промышленности. Развитию сорбционной технологии способствует постоянное создание новых типов адсорбционных материалов, в качестве которых используют твердые вещества с большей удельной поверхностью и, как правило, пористой структурой. Несмотря на разнообразие применяемых адсорбентов, многие из них не удовлетворяют всему комплексу требований, предъявляемых к материалам подобного типа. Главным недостатком большинства применяемых адсорбентов является их высокая стоимость, сложность технологии их регенерации, недостаточная эффективность очистки. Для разработки достаточно дешевых адсорбентов перспективным является использование отходов производства.

Поэтому в нашей работе в качестве сорбционного материала были использованы негидролизуемые остатки (НГО) торфа верхового и низинного типов (ВТ и НТ соответственно).

Остаток гидролиза был выделен из торфа путем обработки его 20% раствором гидроксида натрия при рН суспензии 12,5. Кратность обработки НГО составляла 3 раза. После гидролиза проводили отмывку полученного остатка от водорастворимых органических соединений и перевод его в Н-форму.

В работе использовали НГО с влажностью 79,6-84,15 %, зольностью 19,7-27,8 % и с содержанием карбоксильных групп и фенольных гидроксиллов для НГО ВТ – 1,14-5,7 мг-экв/г, а для НГО НТ – 1-5 мг-экв/г.

Цель исследований заключалась в изучении сорбционных свойств негидролизуемых остатков торфа по отношению к ионам тяжелых металлов.

В работе проведены исследования сорбционных свойств НГО по отношению к ионам железа (III) и хрома (VI).

Результаты проведенных исследований показали, что тип торфа (ВТ или НТ), из которого получают НГО, не оказывает существенного влияния на величину емкости остатка.

При условиях проведения эксперимента максимальные значения СОЕ составили по железу (III) – 0,267 мг-экв/г, по хрому (VI) – 0,45 мкг-экв/г.

Процесс сорбции проводили в диапазоне рН от 2 до 11. По результатам, полученным в ходе исследований, было установлено, что сорбционная емкость исследуемых материалов по ионам железа изменялась незначительно при различных рН раствора. Наилучшие сорбционные свойства НГО наблюдались при рН=5.

По отношению к ионам хрома (VI) сорбционная емкость исследуемых материалов изменялась от 0,29 до 0,45 мкг-экв/г при разных значениях рН. При этом наилучшие сорбционные свойства НГО наблюдались при рН=2.

При проведении исследований также были определены зависимости СОЕ от времени взаимодействия металла с сорбентом в процессе перемешивания проб в течение 1-12 ч и без перемешивания в течение 26 ч. За 26 часов проводимых исследований СОЕ по железу (III) увеличилась на 4,3% для НГО ВТ и на 16,1% для НГО НТ. На основании полученных результатов сделан вывод, что оптимальное время взаимодействия металла с сорбентом составляет 18-25 ч.

Значение СОЕ НГО по хрому (VI) при перемешивании пробы увеличивается на 23,9 % по сравнению с пробой без перемешивания. При этом, оптимальным является время взаимодействия НГО с раствором хрома (VI) 8-9 часов.

Для улучшения сорбционных свойств НГО, в работе были проведены исследования влияния различных способов предварительной обработки НГО на величину СОЕ. Для обработки остатка использовали химические реагенты, такие как ПАВ, пероксид водорода и/или физическое воздействие – ультразвуковую обработку. Кроме того, меняли последовательность воздействия разных факторов.

Обработка остатка НГО химическими веществами и/или ультразвуком оказывает незначительное влияние на величину СОЕ НГО по железу (III). Наилучшие значения статической обменной емкости получены для образцов, подверженных воздействию: для НГО ВТ – пероксида водорода; ультразвука и пероксида водорода; пероксида водорода и ультразвука (0,269 мг-экв/г); для НГО НТ – ультразвука и пероксида водорода; пероксида водорода и ультразвука (0,263 мг-экв/г).

Установлено, что обработка НГО увеличивает величину СОЕ

остатка по хрому (VI). Наилучшее значение СОЕ получены для образцов, подверженных воздействию: для НГО ВТ – ультразвука и ПАВ (0,487 мкг-экв/г), ультразвука и пероксида водорода (0,487 мкг-экв/г); для НГО НТ – ультразвука и ПАВ (0,483 мкг-экв/г), ультразвука и пероксида водорода (0,482 мкг-экв/г), ультразвука (0,481 мкг-экв/г).

Таким образом, можно сделать вывод, что ультразвуковая обработка НГО приводит к росту содержания карбоксильных групп, при снижении общего содержания функциональных групп в образце НГО. При этом наблюдается рост оптической плотности фугата. Это свидетельствует о переходе в раствор окрашивающих соединений, которые могут образовываться как при деструкции органической составляющей НГО, так и при диспергировании НГО. При этом второй процесс более вероятен, т.к. введение ПАВ приводит к сходному увеличению оптической плотности. Отсутствие роста содержания карбоксильных групп в осадке позволяет утверждать, что расклинивающее действие используемого ПАВ невысоко и не позволяет разрушать крупные агрегаты НГО.

В нейтральной среде обработка пероксидом водорода приводит к окислению алифатических фрагментов. Причем это окисление фрагментов происходит без образования функциональных групп (карбоксильных и фенольных гидроксиллов), способных к ионному обмену, а значительное падение оптической плотности фугата при обработке пероксидом водорода позволяет утверждать, что образующиеся низкомолекулярные фрагменты подвергаются дальнейшему окислению.

Воздействие ультразвуковой обработки совместно с пероксидом водорода приводит к большей выраженности процесса окисления, о чем свидетельствует общее снижение функциональных групп (карбоксильных и фенольных гидроксиллов), а также рост зольности. Последовательность обработки и введения пероксида водорода оказывает незначительное влияние на функциональный состав образца. Подтверждение этому является также падение оптической плотности фугата.

Влияние комбинированной обработки ПАВ и ультразвуком приводит к росту содержания фенольных гидроксиллов при первоначальной ультразвуковой обработке с последующим введением ПАВ. Данный факт может быть объяснен стабилизирующим действием ПАВ на образующиеся частицы НГО.

Введение ПАВ с последующей ультразвуковой обработкой не оказывает влияния на увеличение функциональных групп в НГО. Это можно объяснить введением ПАВ на уровне критической концентрации мицеллообразования (ККМ).

Введение пероксида водорода с последующей ультразвуковой

обработкой приводит к снижению оптической плотности фугата, при этом это снижение не так выражено, как в случае введения лишь H_2O_2 , что может быть обусловлено частичной нейтрализацией пероксидом водорода ПАВ.

Аналогичная ситуация наблюдается и при обработке остатка пероксидом водорода и ультразвуком, а также ПАВ и ультразвуком.

Комбинированное воздействие ультразвука, ПАВ и пероксида водорода приводит к увеличению содержания карбоксильных групп и фенольных гидроксидов. Это можно объяснить протеканием процессов диспергирования частиц НГО при ультразвуковой обработке, последующим их окислением пероксидом водорода и стабилизации путем введения ПАВ. При этом введение ПАВ, вероятно, позволяет частично нейтрализовать пероксид водорода, что не приводит к взаимодействию последнего с функциональными группами и их дальнейшим окислением. Таким образом, первоочередное взаимодействие пероксида водорода с ПАВ не позволяет ему участвовать в процессе окисления органических веществ. Поэтому влияние пероксида менее выражено при ультразвуковой обработке совместно с ПАВ. В этом случае также происходит участие в окислительно-восстановительном процессе органических соединений более подверженных окислению и не затрагивающих хромофорные свойства водорастворимых компонентов.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования сорбционных свойств НГО

Наименование показателя	Величина значения показателя в зависимости от сорбируемого металла и типа торфа			
	Хром (VI)		Железо (III)	
	Тип НГО			
	ВТ	НТ	ВТ	НТ
1	2	3	4	5
Оптимальное значение рН	5		2	
Время взаимодействия металла с сорбентом при котором наблюдалось наибольшее значение СОЕ, ч	8	13	25	25
- при перемешивании проб				
- без перемешивания	24	24	18	25
Величина СОЕ в зависимости от продолжительности взаимодействия металла с сорбентом, мг-экв/г (для железа), мкг-экв/г (для хрома):				
- при перемешивании проб	0,350-0,463	0,325-0,439	0,260-0,270	0,230-0,260
- без перемешивания проб	0,160-0,443	0,142-0,411	0,256-0,267	0,230-0,261

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Величина СОР в зависимости от способа предварительной обработки НГО:				
– без обработки	0,443	0,411	0,266	0,253
– ПАВ	0,467	0,454	0,267	0,254
– H ₂ O ₂	0,481	0,474	0,269	0,258
– УЗ	0,485	0,481	0,267	0,261
– УЗ + ПАВ	0,487	0,483	0,267	0,261
– УЗ + H ₂ O ₂	0,487	0,482	0,269	0,263
– H ₂ O ₂ + УЗ	0,483	0,479	0,269	0,263
– ПАВ + УЗ	0,477	0,467	0,266	0,261
– УЗ + H ₂ O ₂ + ПАВ	0,481	0,477	0,267	0,260

Таким образом, в качестве сорбента ионов железа (III) лучше использовать НГО с предварительной его обработкой пероксидом водорода, т.к. при этом наблюдается максимальная сорбционная емкость, а также не происходит загрязнения очищаемой среды водорастворимыми органическими соединениями.

По данным исследования можно сделать вывод о возможности использования негидролизующего остатка торфа в качестве сорбента в процессах очистки промывных сточных вод от гальванических цехов от ионов железа и хрома, что также позволит использовать отход, который образуется на торфоперерабатывающих предприятиях.

УДК 681.831

Ю.Г. Янута, вед.науч.сотр., канд.техн.наук, yanuta@tut.by;

А.М. Абрамец, вед.науч.сотр., канд.техн.наук.,

Н.С. Першай, мл.науч.сотр.

(Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРФЯНОЙ ЗОЛЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ ПРЕПАРАТОВ

В процессе использования твердых горючих ископаемых в больших объемах образуются отходы золы и шлаков. В этой связи, обращение с отходами приобретает исключительную актуальность и большую значимость. С другой стороны, изучение отечественного опыта предыдущих лет и опыта разных стран, анализ состава и свойств образующихся отходов, а также результатов технологических испытаний дают основание рассматривать отдельные категории отходов как сырье для получения новых материалов, обосновать возможные направления использования зольных отходов.

Республике Беларусь увеличивается доля местных видов топлива. Так, согласно [1], прогноза на 2015 г. доля топливного торфа в общем количестве первичных топливно-энергетических ресурсов составит около 24 %. Это закономерно приведет к росту объема золы при его сжигании. В настоящее время согласно данным БелНИЦ «Экология» при сжигании торфа отдельно и совместно с древесиной на предприятиях Республики Беларусь образовалось за 2013 год более 53 тыс. т. При этом зола образующаяся от сжигания торфа или его смеси с древесными отходами отнесена к 3 классу опасности.

В состав зольной части торфа обычно входят диоксид кремния, оксиды алюминия, кальция, магния, натрия, калия, диоксид титана, серный и фосфорный ангидриды и ряд других соединений. Преимущественные направления использования зольных отходов определяют четыре первых компонента, суммарное содержание которых нередко превышает 90%. Понятно, что компонентный состав зол торфа различных месторождений весьма изменчив [2].

Одновременно, зола сжигания торфа является аккумулятором (концентратором) элементов минерального питания растений, которые они ассоциировали для обеспечения ферментативной стимуляции и развития, т. е. именно эти микроэлементы нужны для жизни растений, их активной деятельности. Поэтому зола торфа без всяких сомнений представляет собой ценный материал для решения удобрительных, а также мелиоративных задач почв, рекультивации территорий нарушенных деятельностью человека.

В качестве объекта исследования была использована зола ОАО «Житковичский торфобрикетный завод». На предприятии образуется два типа золы: подовая зола и зола уноса. Подовая зола представлена крупными спекшимися остеклованными агрегатами, использование которых для производства мелиоративных препаратов требует стадии дробления. Гранулометрический состав золы уноса ОАО «Житковичский торфобрикетный завод» определенный по ГОСТ 2093-82 показал, что более 50 масс.% золы имеет размер частиц в диапазоне от 0,2 до 0,63 мм, а содержание частиц с размером более 2 мм составляет около 10 масс. %. Содержание влаги в золе – 0,84 %, потери при прокаливании – 6,8 %. Определение активной кислотности золы во времени показало, что она падает. Непосредственно при образовании золы, ее активная кислотность составляла 10,05, при хранении данный показатель снижался, а после хранения на площадке в течение 5 месяцев, данный показатель составил 7,63. Для получения мелиоративных препаратов использован образец низинного торфа влажностью 33,4% и зольностью 9,9 %. Были приготовлены модельные образцы грунтов

с разным соотношением торф:зола, а именно, образец 1 – зола; образец 6 – торф. В качестве тест-культуры использована Ежа сборная (*Dactylis glomerata*), что связано с ее активным использованием для создания газонов как в виде монокультуры, так и в травосмесях. Результаты по определению массы вегетационной части растения представлены на рис. 1.

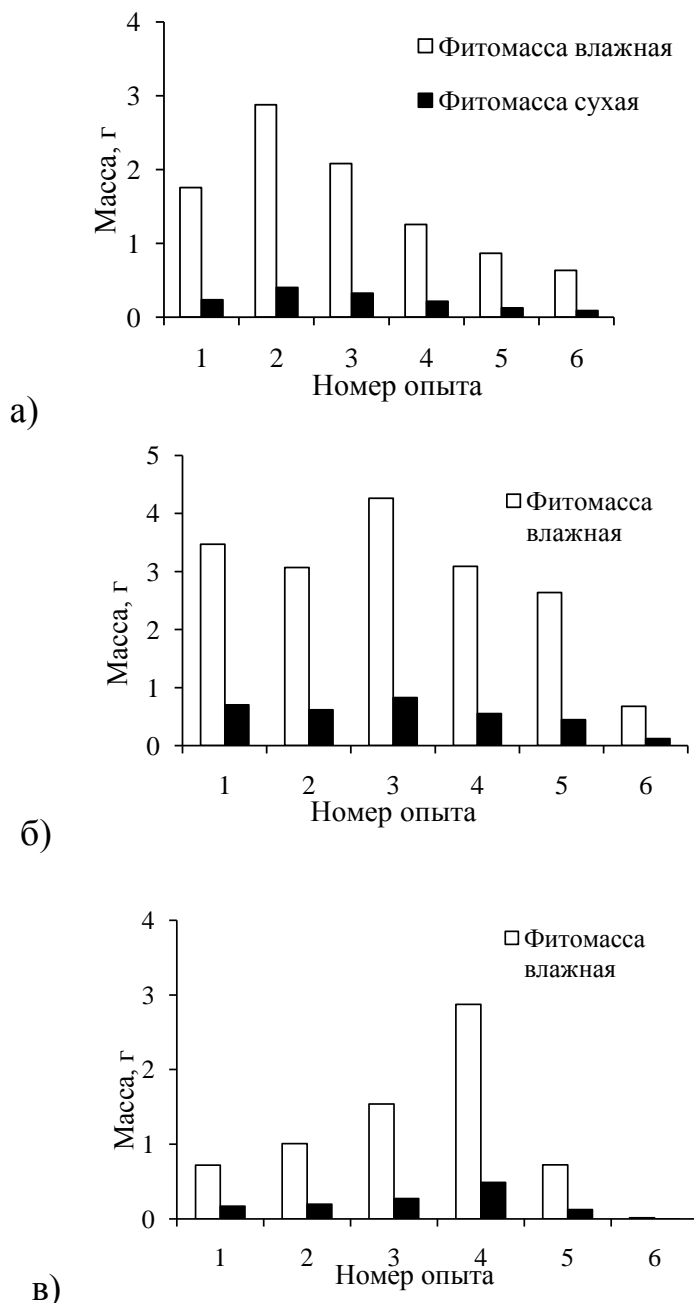


Рисунок 1 – Масса вегетационной части растений через: а) 15 дней после посева; б) 45 дней после посева; в) 75 дней после посева

Как следует из рисунков, общая масса всходов после 15 и 45 дней с момента посадки больше для образцов 2 и 3, т.е. при соотношении зола:торф 7:3 и 1:1 соответственно.

Обращает на себя внимание высокая масса всходов на золе без торфа. Данный факт можно объяснить снижением рН среды, за счет нейтрализации свободных щелочных оксидов. При этом количество всходов на золе и во втором опыте (соотношение зола:торф 7:3) максимальное. Количество всходов после 15 и 45 дней с момента посадки снижается при переходе от 2 к 6 образцу.

Таким образом, показано, что торфяная зола может быть использована в качестве основного компонента для приготовления мелиоративных препаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Топливо-энергетические ресурсы Беларуси: структура и классификация / Ю. Румянцева // Энергетика и ТЭК. – 2013 – № 6 (123).

2. Лиштван, И.И. Основные свойства торфа и методы их определения / И.И. Лиштван, Н.Т. Король. – Мн: Наука и техника, 1975. – 320 с.

УДК 628.3.034.2:677.027.42

Л.А. Шибека, доц., канд.хим.наук
(БГТУ, г. Минск)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ОКРАСКЕ ТКАНЕЙ

Проблема очистки сточных вод от красящих веществ остро стоит для красильно-отделочных предприятий. С учетом модернизации многих промышленных объектов легкой промышленности в Республике Беларусь и расширением ассортимента выпускаемой ими продукции соответствие указанных производств экологическим международным стандартам является обязательным условием выхода отечественной продукции на международный рынок. Проведенный анализ типовых процессов окраски тканей показал, что значимым экологическим аспектом данного производства являются сточные воды, содержащие красящие вещества.

Проблема очистки сточных вод красильно-отделочных предприятий обусловлена большим ассортиментом используемых в производстве красителей и вспомогательных веществ и, как следствие, не-

постоянством состава стоков, значительным их объемом, неравномерностью образования в течение суток и другими факторами.

Среднее количество сточных вод, образующихся на отбельно-красильных фабриках, составляет 315 м^3 на 1 т вырабатываемой продукции. Производство характеризуется высокими безвозвратными потерями воды (в первую очередь, за счет ее испарения, т.к. многие технологические процессы протекают при повышенных температурах) – в среднем $15 \text{ м}^3/\text{т}$.

Сточные воды текстильных производств содержат взвешенные и растворенные вещества органического и минерального происхождения, входящие в состав красителей, поверхностно-активных, отбеливающих веществ, вспомогательных компонентов пропиточных, красильных и отделочных растворов, в том числе минеральные соли, органические добавки, тяжелые металлы т.д. Усредненный состав сточных вод красильно-отделочных производств выглядит следующим образом: рН – 8,6-11,2, ХПК – 450-1000 мг/л, БПК_п – 175-400 мг/л, содержание поверхностно-активных веществ – до 50 мг/л, содержание взвешенных веществ – 160-450 мг/л, сухой остаток – 1500-2500 мг/л, содержание хлоридов – 120-400 мг/л. Концентрация красителей в сточных водах составляет 20-25 мг/л. Указанные сточные воды характеризуются специфическим стойким запахом, высокой интенсивностью и разнообразием окраски.

Наиболее часто сточные воды красильно-отделочных предприятий очищают с применением комбинированных систем, сочетающих в себе несколько методов очистки, таких как коагуляция, биологическая очистка, реагентные методы, адсорбция, мембранные методы, ионообменный обмен, электрохимические методы и т.д.

В работе проводились исследования по очистке модельных сточных вод с использованием отходов производства – отработанных ионитов и лигносульфонатов натрия.

Объектом исследования служили модельные сточные воды, содержащие кислотный краситель Найлозан бирюзовый F-5G в концентрациях 10-100 мг/л. Выбор красителя обусловлен большим ассортиментом и широким использованием на практике кислотных красителей. В отечественном ассортименте насчитывается более 60 наименований кислотных красителей, ими окрашивают шерстяные и полиамидные волокна, натуральный шелк. Чаще всего кислотные красители являются натриевыми солями сложных органических сульфокислот и имеют молекулярную массу 300-500. В общем виде формулу кислотных красителей можно представить следующим образом: $\text{Kp-SO}_3\text{Na}$.

Величина рН модельных растворов составляла 7,1. В пробу сточных вод вносили навеску (в количестве 4 г/л) измельченного катионита и (или) анионита или отдельно приготовленные растворы, содержащие полиэлектролитные комплексы (ПЭК), полученные путем смешения раствора лигносульфонатов натрия и навески измельченного анионита в определенном массовом соотношении. Время взаимодействия сорбента с красителем составляло 1,5 часа. Пробу периодически перемешивали. Расчет эффективности очистки определялся по разнице значений оптической плотности раствора до и после процесса очистки. Разделение твердой и жидкой фаз проводили фильтрованием раствора.

В роле ионитов выступали отработанный и измельченный до пылевидного состояния катионит марки КУ-2 и анионит марки АВ-17, образующиеся в процессах водоподготовки на промышленных предприятиях и теплоэнергетических объектах. Лигносульфонаты являются отходом производства целлюлозы по сульфитному способу.

Полученные результаты представлены в таблице 1. Установлено, что высокие значения степени очистки сточных вод (около 87 %), наблюдаются в пробах, куда добавили катионит и анионит в соотношениях 1:2, 1:3 и 1:4. Вероятно, это связано с образованием полиэлектролитных комплексов за счет связей, возникающих между функциональными группами анионита и красителя, или с получением «тройных» ПЭК состава катионит-анионит-краситель.

Таблица 1– Эффективность очистки сточных вод при добавлении катионита и анионита

Массовое соотношение катионита и анионита	Степень очистки (%) при исходной концентрации красителя в пробе, мг/л				
	10	40	50	80	100
1	2	3	4	5	6
1:1	53,3	70	72,2	69,1	56
1:2	64,5	84,8	86,2	86,4	77,7
1:3	64,4	81,8	83,1	87,7	86,4
1:4	75,2	84,3	86,5	86	81,4
2:1	36,7	49,3	49,1	41,9	37,8
3:1	34,3	34,5	36,2	36,2	36,1
4:1	20,1	29,3	28,1	23,3	20,3
0:5	81,3	92,3	93,1	94,1	91,6

Полученные результаты показывают, что степень очистки сточных вод изменяется незначительно при существенном увеличении анионита относительно катионита в растворе в диапазоне отношений от 1:2 до 1:4. Однако эффективность очистки сточных вод от красите-

ля в рассматриваемых пробах выше по сравнению с пробами, в которых превалирует катионит. Это является закономерным, так как в смеси больше содержится положительно заряженных функциональных групп анионита. Добавление в сточную воду только катионита не привело к изменению содержания красителя в растворе.

Установлено, что наибольшей степенью очистки (94,1%) характеризуется проба, в которую добавили только анионит, что обусловлено высоким содержанием положительно заряженных функциональных групп, способных взаимодействовать с сульфо-группами красителя.

Высокие значения степени очистки сточных вод, характерны также для пробы, с добавлением анионита и лигносульфонатов натрия в соотношении 4:1 (таблица 2), что вероятно обусловлено удалением красителя как с помощью электростатического взаимодействия, так и с помощью сорбционных свойств поверхности полиэлектролитных комплексов, так как в этом случае содержание анионита в сточной воде из всех рассмотренных вариантов максимально. В последнем случае возможно также образование «тройных» полиэлектролитных комплексов состава анионит-краситель-лигносульфонаты.

Таблица 2 – Эффективность очистки сточных вод при добавлении анионита и лигносульфонатов натрия

Массовое соотношение анионита и лигносульфонатов	Степень очистки (%) при исходной концентрации красителя в пробе, мг/л				
	10	40	50	80	100
1:1	65,1	73,1	76,4	79,5	80,8
1:2	32,9	40,6	43,5	45,1	56,8
1:3	47,2	46,9	48,4	51,3	59,8
1:4	25,5	28,4	29,2	34,1	41,5
2:1	56,3	73,3	74,3	70,0	71,6
3:1	61,1	70,3	71,2	67,3	68,0
4:1	62,5	77,1	77,6	84,6	82,6
5:0	81,3	92,3	93,1	94,1	91,6

Увеличение содержания лигносульфонатов натрия в составе полиэлектролитных комплексов вызывает снижение степени очистки сточных вод. Это является закономерным, поскольку в этом случае часть функциональных групп анионита изначально «связана» с группами лигносульфонатов, и свидетельствует о возможности удаления красителя из сточных вод, главным образом, только за счет электро-

статического взаимодействия.

Образующийся после очистки сточных вод осадок, представленный полиэлектролитными комплексами с красителем, может быть подвержен термическому обезвреживанию (если сточные воды не содержат в своем составе тяжелые металлы) или подлежит захоронению.

Проведенные исследования позволили предложить систему очистки сточных вод отделочно-окрасочных производств с использованием отработанных ионитов. Реализация данной системы очистки на предприятиях текстильной промышленности позволит снизить воздействие промышленных объектов на гидросферу, использовать вместо дорогостоящих сорбентов отход производства – отработанные иониты. Для достижения высокоэффективной очистки необходимо осуществлять подбор режимов и уточнять условия проведения процесса очистки с учетом конкретного состава сточных вод и характеристик отработанных ионитов.

УДК 667.2:625.7

А.В. Гречаников, доц., канд. техн. наук;
А.П. Платонов, доц., канд. хим. наук,
С.Г. Ковчур, проф., д-р техн. наук
(ВГТУ, г. Витебск)

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ОТХОДЫ СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ И ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ КАК ДОБАВКА К КЕРАМИЧЕСКИМ МАССАМ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рациональное использование природных ресурсов в настоящее время приобретает особое значение. Решение этой актуальной народнохозяйственной проблемы предполагает разработку эффективных безотходных технологий за счёт комплексного использования сырья, что одновременно приводит к ликвидации огромного экологического ущерба, оказываемого хранилищами отходов. Большинство отходов промышленного производства отходами не являются, поскольку могут заменить природные ресурсы, а во многих случаях по своим качественным показателям являются уникальным сырьём [1, 2]. Годовой экономический ущерб от загрязнения окружающей среды отходами производства и потребления оценивается на уровне 10 % от ВВП.

Наиболее рациональным направлением утилизации промышленных отходов является их использование как техногенного сырья при получении различного вида продукции и прежде всего строитель-

ного назначения. Важнейший резерв ресурсосбережения в строительстве – это широкое использование вторичных материальных ресурсов: неорганических отходов теплоэлектростанций и станций обезжелезивания. Одно из наиболее перспективных направлений утилизации промышленных отходов – их использование в производстве строительных материалов, что позволяет удовлетворить потребности в сырье до 40 %. Применение отходов промышленности позволяет на 10–30 % снизить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с их производством из природного сырья [3].

Кирпич керамический лицевой применяется для облицовки наружных и внутренних стен зданий и сооружений. Кирпич керамический для дымовых труб применяется для кладки кирпичных труб, железобетонных и металлических промышленных труб (при температуре нагрева кирпича не более 700 °С).

Кирпич рядовой керамический, изготавливаемый методом сухого прессования, должен отвечать следующим основным требованиям (ГОСТ 1160–99).

По содержанию основных химических составляющих глинистая порода должна состоять из:

- диоксида кремния SiO_2 – не более 85 % по массе в том числе свободного кварца – не более 60 %;
- суммы оксидов алюминия и титана ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$) – не менее 7 %;
- суммы оксидов кальция и магния ($\text{CaO} + \text{MgO}$) – не более 20 %;
- суммы соединений серы в пересчете на SO_3 – не более 2 %;
- суммы оксидов железа ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$) – не более 14 %;
- суммы оксидов калия и натрия ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) – не более 7 %.

Содержание в глинистой породе тонкодисперсной фракции менее 1 мкм должно быть около 15 %, фракции менее 10 мкм – не более 30 % по массе, содержание фракции 0,01–0,5 мм не регламентируется.

Содержание в глинистой породе крупнозернистых (размером частиц свыше 0,5 мм) включений размером более 5 мм не должно превышать 5 % по массе.

Водопоглощение обожженного черепка (без признаков пережога), характеризующее спекаемость, должно быть не менее 8 %.

Глинистое сырьё должно обеспечивать механическую прочность кирпича не ниже марки 75.

Неорганические отходы станций обезжелезивания и теплоэлектростанций (ТЭЦ) по своему химическому составу и техническим свойствам близки к глинистому сырью и имеют ряд преимуществ (предварительная термическая обработка, повышенная дисперсность), их применение в производстве строительных материалов является од-

ним из основных направлений снижения материалоёмкости этого многотоннажного производства.

Новый состав сырья для изготовления керамического кирпича с использованием неорганических отходов котельной «Южная» разработан внедрён на коммунальном производственном унитарном предприятии «Обольский керамический завод» в соответствии с требованиями ГОСТ 1160-99 «Кирпич и камни керамические», СТБ 1286-2001 «Кирпич керамический». Подготовлены два состава керамической массы.

Керамическую массу готовили пластическим способом при влажности 18-20 %, из которой формовали кирпич, высушивали кирпич-сырец до влажности 8 %, затем обжигали при температуре 1050 °С. В лаборатории определены физико-механические свойства кирпича (таблица 1).

Таблица 1 – Физико-механические показатели кирпича

Показатель	Стандартный состав сырья	Разработанные составы сырья	
		Состав 1	Состав 2
Предел прочности при сжатии, МПа	28,1	28,4	28,4
Морозостойкость, циклы	112	112	114
Водопоглощение, масс. %	8,0	8,4	8,7

Неорганические отходы станций обезжелезивания и ТЭЦ могут служить в качестве отошающих добавок в производстве керамического кирпича на основе глинистых пород. В качестве отошающих добавок на предприятии используют шамот (молотый кирпич с фракциями от 0,5 до 5 мм или керамзиты) в количестве от 12 до 18 % в составе кирпича. Неорганические отходы, как отошающая добавка, уменьшают пластичность глины, связывают воду. В результате изделие легче формуется, повышается качество продукции, в частности, морозостойкость. Эффективность действия добавок зависит от их дисперсности и зернового состава. Мелкозернистая добавка неорганических отходов, ухудшая сушильные свойства сырца, вместе с тем повышает прочность готовых изделий, спекаясь с глинистой породой при обжиге. Исследовано влияние содержания в исходном сырье железосодержащих неорганических отходов на процессы структурообразования, происходящие в керамическом кирпиче. Изучено влияние гранулометрического состава отходов на процесс формования изделий. Кирпич, изготовленный с добавками шлама, обладает стабильной прочно-

стью, высокой морозостойкостью, кислотостойкостью и низкой истираемостью. Отходы содержат красящие оксиды (пигменты) – сурик и охру, что регулирует и улучшает цветовую гамму и внешний вид изделия – его товарный вид. За счёт использования в составе сырья отходов стоимость керамического кирпича снижается на 10-15 %. Отходы относятся к четвёртому классу опасности, к малоопасным веществам. Новый состав сырья важен в плане ресурсосбережения, импортозамещения, поскольку предприятие импортирует часть глины из России.

В результате проведённых исследований установлено, что 10–20 % глины, входящей в состав исходной смеси, можно заменить сухими отходами, образующимися при водоподготовке на теплоэлектростанциях или станциях обезжелезивания, поскольку по содержанию основных компонентов глинистая порода сходна с неорганическими отходами. Новый состав сырья важен в плане ресурсосбережения и импортозамещения.

По результатам проведённой работы подана заявка на получение патента на изобретение № а20130766 от 17.06.2013 г. «Керамическая масса для производства строительного кирпича». Авторы: Платонов А.П., Трутнёв А.А., Ковчур С.Г., Ковчур А.С., Манак П.И.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бусел, А.В. Использование крупнотоннажных бытовых и промышленных отходов / А.В. Бусел // Строительные материалы. – 1994. – № 9. – С. 7-9.
2. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. – 368 с.
3. Киушкин, Э.В. Разработка экологически безопасной технологии утилизации шлама химводоподготовки ТЭЦ: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36 / Э.В. Киушкин; Нижегород. гос. арх. строит. ун-т. – Н.Новгород, 2002. – 21 с.

УДК 547.466.3:661.7

Т.А. Жарская, доц., канд. техн. наук; Т.С. Коротченя, студ.
(БГТУ, г. Минск)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КУБОВОГО ОСТАТКА ДИСТИЛЛЯЦИИ КАПРОЛАКТАМА

В промышленности капролактамы получают из бензола, фенола или толуола. Полученный любым из перечисленных методов капролактамы предварительно очищают с помощью ионообменных смол, а

затем перегоняют.

В результате дистилляции образуется 3 фракции: головная фракция, очищенный продукт и кубовый остаток. Головная фракция состоит из низкокипящих сложных эфиров 6-аминокапроновой кислоты, непрореагировавшего нитрила 6-аминокапроновой кислоты. Кубовый остаток состоит в основном из капролактама и его олигомеров. Наличие последних позволяет рассматривать кубовый остаток как ценное вторичное сырье для других отраслей промышленности, о чем свидетельствуют проведенные патентные исследования с целью определения возможных направлений использования кубового остатка, образующегося на ОАО «Гродно-Азот».

Известен вариант использования кубового остатка для приготовления чистяще-полирующего состава для лакокрасочных покрытий автомобилей. Приготовление данного состава осуществляют в реакторе с рубашкой и мешалкой. Загружают кубовые остатки и многоатомный спирт и при температуре 80-90°C перемешивают до полного растворения в течение 1 ч. Далее температуру снижают до 20-40°C и последовательно загружают при перемешивании полиоксиэтиленовый эфир алкилфенола, воду, уайт-спирит и фосфиты кальция. Полученную смесь окончательно перемешивают в течение 20 мин. Достоинством такого полирующего состава является стабилизация чистяще-полирующей способности при отрицательных температурах [1].

Возможно использование кубового остатка как добавки при производстве бетонных смесей. Эта добавка включает кубовый остаток производства синтетических жирных кислот, кубовый остаток дистилляции капролактама и гидрооксид натрия. Приготовленную добавку добавляют в воду затворения при приготовлении растворных и бетонных смесей. Использование этой добавки позволяет повысить устойчивость бетонных смесей к образованию кристаллического осадка при хранении и транспортировке.

Известно использование кубового остатка для извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов. Для осуществления способа проводят контактирование водных растворов в течение 1-20 мин с полимерными сорбентами на основе целлюлозы, модифицированными при микроволновом облучении мощностью 300 Вт с частотой 2,45 ГГц. Модифицирование осуществляют путем их предварительного погружения в водный раствор кубового остатка дистилляции капролактама с последующим отжимом и микроволновым облучением в течение 1-5 мин при температуре 150-200°C. Способ обеспечивает повышение степени извлечения ионов тяжелых металлов из слабокислых растворов с рН менее 5 примерно на 20% при сохранении высо-

кой степени извлечения ионов из нейтральных водных растворов, а также позволяет повысить устойчивость сорбента при хранении на открытом воздухе [2].

Нашел применение способ получения адипиновой кислоты путем окисления кубового остатка дистилляции капролактама. Реакцию осуществляют с помощью окислителя, представляющего собой смесь 30% перекиси водорода и концентрированной серной кислоты (96%). Адипиновая кислота - сырьё в производстве нейлона (~90 % всей производимой кислоты), полиуретанов; пищевая добавка E355 для придания кислого вкуса (в частности, в производстве безалкогольных напитков), как основной компонент различных средств для удаления накипи. Используется также для удаления остаточного материала после заполнения швов между керамическими плитками.

Возможно применение кубовых остатков дистилляции капролактама в качестве выгорающей добавки в керамических массах. Преимуществом введения остатка в состав глинистых масс является то, что полученный материал имеет пористую структуру, уменьшенную объемную массу, низкую осыпаемость.

Существуют варианты использования кубового остатка для приготовления шпаклевочных декоративных растворов и их поверхностной окраски в процессе отделки внешних стен уличных и промышленных зданий. В данный состав вводится водная органическая дисперсия, приготовленная из кубового дистиллята, путем его растворения в воде при нагревании при температуре 80-100°C до полного насыщения. После охлаждения такой дисперсии образуется пластичная паста белого цвета, которая и применяется взамен поливинилацетатной дисперсии (ПВА) в заявляемом составе. В сравнении с ПВА кубовый остаток является более эффективным замедлителем начала схватывания цементного компонента в красящем составе, что увеличивает его жизнеспособность, с другой стороны, частицы капролактама и олигомеров являются более лиофобными, что снижает водоудерживающую способность краски и шпаклевочного раствора на их основе. Вода в предлагаемом составе краски на красящей поверхности бетона быстрее и легче поглощается, т.е. увеличивается скорость затвердевания предлагаемой краски, что дает возможность снизить расход хлористого кальция в составе краски, который ускоряет процесс затвердевания краски на поверхности бетона [3].

Возможен вариант использования кубового остатка при приготовлении асфальтобетонных смесей. Введение кубового остатка в состав активирующей смеси минерального порошка позволяет получить асфальтовое вяжущее, которое имеет повышенные показатели сцеп-

ления с песком и щебнем. Добавление остатка в состав смеси также придает минеральному порошку такие свойства как снижение битумоемкости минерального порошка, повышение водостойкости и теплостойкости асфальтобетона, что ведет к более широкому (по климатическим зонам) использованию смеси [4].

Известно применение кубового остатка для получения ингибитора кислотной коррозии в нефтепромысловых средах. Ингибитор содержит кислородсодержащие отходы производства капролактама и азотсодержащую органическую добавку. Для снижения вязкости ингибитора в его состав может быть введена также добавка поверхностно-активного вещества типа оксиэтилированных алкилфенолов. Ингибитор получают простым смешением ингредиентов при температуре 20-60°C и времени перемешивания 2-4 ч. Оптимальная концентрация ингибитора в водонефтяной эмульсии составляет 50-200 мг/л. Данный ингибитор обеспечивает высокую эффективность защиты от коррозии в углеводородных, водных, а также двухфазных средах в широком температурном диапазоне использования (от -40 до +60°C). Производство ингибитора базируется на доступной сырьевой базе, что позволяет заметно снизить себестоимость производства ингибитора относительно других аналогов.

Применяется кубовый остаток и в составе связующего для изготовления литейных форм и стержней теплового отверждения. Реализация данного состава позволяет повысить прочность форм и стержней в горячем состоянии в 1,8-2,0 раза и увеличить за счет этого производительность стержневых автоматов.

Описано использование кубовых остатков в качестве модификаторов глин. Молекулы кубового остатка силами адсорбционного взаимодействия втягиваются в межслоевое пространство слоистых силикатов, каковыми являются глины. Фиксируясь на поверхности глинистых частиц (пластинок глины), они препятствуют адсорбции молекул воды, а также вытесняют ее из межслоевого пространства. В результате этих процессов глина теряет присущие ей гидрофильные свойства и приобретает сродство к неполярным жидкостям, что и позволяет получать на ее основе устойчивые органосуспензии. Полученные модифицированные слоистые силикаты могут быть использованы в производстве красок, покрывной эмали, шпаклевок, бытовых красок, в керамической промышленности при получении безводных формовочных смесей, в качестве активных наполнителей полимеров и резин, для смазочно-охлаждающих жидкостей, приготовления буровых растворов на нефтяной основе [5].

Таким образом, данная тема актуальна, поскольку позволяет

найти решение как экономических, так и экологических проблем, связанных с образованием кубового остатка при производстве капролактама.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полирующий состав: пат. 2048501, Россия, МПК С09G1/02 / В.М. Усиченко, М.И. Стуль, В.А. Колнооченко, А.М. Ивченко, В.Ф. Туманов, С.В. Липочкин, Н.Н. Тарасенков, Т.М. Стуль, Е.А. Андреева, Л. Фаббри; заявитель Щелковское предприятие Агрохима. – № 92008902/05; заявл. 27.11.1992; опубл. 20.11.1995.

2. Способ извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов: пат. 2495830, Россия, МПК В01J С02F/ Т.Е. Никифорова, В.А. Козлов, Н.А. Ефимов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ивановский государственный химико-технологический университет". заявл. 28.04.2012; опубл. 20.10.2013.

3. Состав строительного раствора: пат. 2099302, Россия, МПК С04В/ Г.Г. Рябов, Л.К. Егорычев, В.И. Коноплев, Н.М. Качурин, Р.Г. Рябов, М.И. Горбачева; заявитель Тульский государственный университет. – № 96101874/04; заявл. 31.01.1996; опубл. 20.12.1997.

4. Минеральный порошок для асфальтобетонной смеси: пат. 2112759, Россия, МПК С04В26/26/ Г.П. Неуров; / Г.П. Неуров. – № 97108317/04; заявл. 20.05.1997; опубл. 10.06.1998.

5. Соли производные капролактама как модификаторы глин: пат. 2129109, Россия, МПК С04В С07D /В.В. Тарасов, И.И. Немец, Г.И. Тарасова, С.В. Свергузова; заявитель Белгородская государственная технологическая академия строительных материалов. заявл. 23.12.1996; опубл. 20.04.1999.

УДК 628.3:674.05

А.В. Дубина¹, ассист.; В.Н. Марцуль¹, доц., канд. техн. наук;
А.С. Асташко², инженер

(¹БГТУ, г. Минск, ² ОАО «Борисовский завод медицинских препаратов»,
г.Борисов)

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ ОТ ФОРМАЛЬДЕГИДА

На деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь большинство клеевых составов, которые используются в производстве фанеры ДСП, МДФ, мебельных щитов и др., получают из карбамидоформальдегидных смол (КФС).

Для этих предприятий одной из проблем является очистка сточных вод, которые содержат продукты конденсации карбамида и формальдегида и свободный формальдегид.

Сточные воды, образующиеся после промывки технологического оборудования используемого для приготовления клеевых составов из карбамидоформальдегидной смолы и отобранные на различных деревообрабатывающих предприятиях Беларуси, характеризуются с составом: концентрацией формальдегида – 1-5 г/дм³, химическим потреблением кислорода (ХПК) жидкой фазы – 15000-60000 мгО₂/дм³, содержанием компонентов КФС – 50-80 г/дм³.

Проблема выбора эффективных способов очистки данных сточных вод связана с нестабильным составом, отложением продуктов конденсации на стенках емкостей и трубопроводов, изменением концентрации формальдегида в процессе хранения.

На состав сточных вод существенное влияние оказывает гидролиз компонентов КФС. В результате этого процесса остаточные метилольные группы и эфирные мостики переходят в метиленовые и метиленэфирные связи с образованием свободного формальдегида и воды. Олигомеры КФС термически и гидролитически неустойчивы.

Гидролитическое расщепление низкомолекулярных фракций происходит путем гидролиза метиленовых или метиленэфирных связей. Из концевых метилольных групп образуется формальдегид. Стимулируют эти процессы разбавление смолы водой, повышение температуры и снижение рН [1].

Сточные воды, которые содержат компоненты КФС, образуются в количестве до 26 м³ на 1000 м³ производимой продукции при промывке технологического оборудования и емкостей, используемых для производства, приготовления и применения клеевых составов.

Среди известных физико-химических и химических методов очистки сточных вод наибольшее распространение получили термические, окислительные и сорбционные методы, конденсация формальдегида со щелочным реагентом (альдольная конденсация) и электрохимическое окисление.

В работе проведены исследования эффективности обезвреживания сточных вод методами адсорбции, окислительной деструкции, конденсации растворенных соединений с образованием твердой фазы.

Сорбция является наиболее универсальным методом очистки сточных вод по сравнению с окислительными или термическими методами, так как она основана не на трансформации веществ, а на их извлечении из стоков [2]. Сорбционная очистка сточных вод от формальдегида достаточно эффективна по сравнению с другими метода-

ми очистки воды при низких концентрациях формальдегида. Однако при использовании сорбентов существует проблема их регенерации и уменьшения их сорбционной емкости из-за отложения на поверхности сорбента нерастворимых олигомеров карбамидоформальдегидной смолы. Степень очистки составляет 60-99% в зависимости от условий среды.

В исследованиях в качестве адсорбентов использовали активный уголь марки АГ-3, отработанные иониты. При обработке жидких отходов адсорбентом АГ-3 максимальная степень очистки (38% по ХПК) достигается при дозе адсорбента 40 г/дм³. Обработка проб сточных вод отработанным анионитом АН-31 позволяет уменьшить показатель ХПК на 12%. Содержание формальдегида при этом уменьшается на 20%.

При использовании в качестве сорбента отработанного ионита АВ-17-8 в количестве 40 г/дм³ показатель ХПК уменьшился на 41%, а концентрация формальдегида снизилась на 74,5%. Более высокую степень очистки в сравнении с анионитом АН-31 можно объяснить взаимодействием формальдегида с четвертичными аммонийными группами, входящими в состав ионита.

Использование КУ-2 в качестве сорбента не привело к изменению состава жидких отходов.

Окисление является распространенным методом обезвреживания сточных вод и жидких отходов, содержащих органические соединения. В исследованиях по окислительному обезвреживанию сточных вод в качестве окислителей использовали кислород воздуха и пероксид водорода [3].

Окисление кислородом воздуха проводили путем аэрации проб сточных вод. Для исследования влияния рН среды на окисление органических веществ, пробы подкисляли серной кислотой и подщелачивали суспензией гидроксида кальция.

Использование аэрации обеспечивает снижение показателя ХПК на 5% в кислой и на 6% в щелочной среде.

Обработку пероксидом водорода проводили при перемешивании и выдержке в течение 1 суток при температуре 20 °С. Расход пероксида водорода составлял 3,0-13,8 г/дм³. Показатель ХПК сточных вод после такой обработки (расход пероксида водорода 13 г/дм³) уменьшился на 9%, что свидетельствует о низкой эффективности обработки в таких условиях.

Обработка смесью пероксида водорода и трехвалентного железа (реагент Фентона) является эффективным методом окисления органических загрязнителей. Реакция Фентона основана на катализируемом

железом (II) разложении пероксида водорода с получением реакционных гидроксильных радикалов [3].

Эффективность окисления регентом Фентона зависит от концентрации H_2O_2 и Fe^{2+} , продолжительности обработки и pH среды. Максимальный эффект обезвреживания (41%) достигнут при расходах пероксида водорода до 13 г/дм^3 . При этом он несколько выше, чем при обработке только пероксидом водорода при сравнимых концентрациях окислителя.

Известно, что сточные воды очищают от КФС и формальдегида при обработке в кислой среде с добавлением карбамида из расчета 1,2 моль карбамида на 1 моль формальдегида. Очистка протекает в течение 3,0-3,5 часов при температуре 20-90°C. Затем вода отстаивается. Содержание формальдегида в воде снижается с 5 г/дм^3 до $0,7-0,3 \text{ г/дм}^3$. Эффективность очистки составляет 86-93%.

Известно, что из всех органических соединений, альдегиды при действии УФ-излучения окисляются наиболее легко, превращаясь в карбоновые кислоты с таким же числом атомов углерода в цепи.

Декарбоксилирование карбоновых кислот существенно ускоряется в присутствии катализатора TiO_2 [4].

Исследованиями эффективности очистки сточных вод от формальдегида под действием УФ-излучения установлено, что степень очистки по формальдегиду составляет 90-98% в зависимости от дозы излучения.

Все экспериментально опробованные способы очистки обеспечивают снижение содержания формальдегида в разных диапазонах концентраций и отличаются условиями проведения процесса. При выборе технологии очистки помимо эффективности очистки нужно учитывать затраты, возможность повторного использования очищенной воды, образование отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доронин Ю.Г., Мирошниченко С.Н., Свиткина М.М. Синтетические смолы в деревообработке. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 224 с.
2. Абсорбенты: теория и практика их применения для очистки сточных вод / Под ред. Авакова А.П. - М.: Химия, 1983. - 114 с.
3. Анализ существующих методов очистки сточных вод от формальдегида/ Плюсина А.В, Чудинова С.М. // Тез. докл. 27 науч. - тех. конфер. Пермского политех. инс-та по результатам н-и работ, выполненных в 1988-1990 гг. [Ч.2] - Пермь, 1991.-с.201.

4. Савинов, Е.Н. Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха / Е.Н. Савинов // Соровский образовательный журнал. – 2000. – Т.6 № 11 – С. 52–56.

УДК 502

А. В. Дернович, технический директор
(ЗАО «ДиАрКласс», г. Минск)

ПЕРЕРАБОТКА НЕФТЕШЛАМОВ МЕТОДОМ ТЕРМОДЕСОРБЦИИ

Введение. Проблема ликвидация шламонакопителей, является одной из наиболее важных, но трудно решаемых задач. Причин этому несколько. Во-первых, многообразие нефтешламов по химическому составу и условиям образования требует проведения индивидуальных исследований для каждого конкретного случая, что не всегда возможно. Во-вторых, технология достаточно полной переработки и обезвреживания, как правило, диктует соблюдение особых условий, которые трудно выполнимы на практике. В-третьих, многие эффективные способы глубокой переработки сопряжены с большими экономическими и ресурсными затратами, использованием дефицитных реагентов с последующей их регенерацией, утилизацией или захоронением отходов; и для некоторых предприятий все это выполнить очень сложно. Поэтому поиск новых эффективных способов переработки нефтешламов является по-прежнему актуальным.

Масштаб проблемы, связанной с переработкой накопленных нефтешламов имеет региональный характер. Только в России, по официальным данным, накоплено более 100 млн. тонн нефтешлама. по данным экспертов, до 300 млн. тонн. Причем, ежегодно добавляется до 3 млн. тонн новых отходов. В Республике Беларусь лежит около – 5-7 млн.тонн (с учетом донных остатков котельных). Большие или малые шламы, отвалы, стоки и «хвосты» есть у каждого более или менее крупного предприятия [1]. Они загрязняет окружающую среду, занимают территории, которые могли бы быть использованы, а сейчас фактически умерли (Фото 1, 2). Почву, загрязненную нефтешламами, нельзя использовать многим поколениям. Это еще и колоссальные потери для промышленности — фактически это недополученные углеводороды (УГВ), которые могли бы быть использованы и принести пользу экономике.

Нефть и вода в шламах часто образуют стабильные эмульсии. В состав нефтешламов входят диспергированные и эмульгированные нефтяные фракции. По данным различных источников, из нефтешла-

мов, можно выделить до 10% товарного нефтепродукта. Этот ресурс может и должен быть использован.



Фото 1 - Шламовый пруд



Фото 2 - Шламовый накопитель

Основная часть. Существующие методы утилизации и обезвреживания нефтешламов условно можно разделить на группы.

1 группа. Сжигание (в смеси с другими видами топлив).

2 группа. Биоремедиация (деструкция нефтяной фракции шлама с использованием биопрепаратов).

3 группа. Химическая обработка (смешивание с химическими препаратами).

4 группа. Сепарация с извлечением части нефти и нефтепродуктов.

Методы, отнесенные к группам 1, 2, 3 являются деструктивными, четвертая группа методов – регенеративные методы, которые позволяют извлеченные из нефтешлама УГВ вернуть в производство.

Содержимое прудов, содержащих нефтешламы, состоит из нескольких слоев различной плотности: верхний слой - свободная нефть; следующий слой - тяжелый нефтешлам (смесь диспергированной нефти, воды и твердых частиц); нижний слой - слой донного осадка.

При извлечении нефтешламов из пруда отбираются все слои одновременно, проводится перемешивание слоев, т.е. слой свободной нефти не отделяется от нефтешлама отдельно.

Сжигание Применение этого метода характерно, в основном, для утилизации жидких нефтесодержащих шламов. Нефтешламы при сжигании могут использоваться, в основном, в качестве подмешивающего компонента к основному топливу (подмешивание произво-

дится в определенных пропорциях). Сжигание нефтешлама - это дорогой затратный процесс, нефтяные компоненты шлама, которые могли бы найти применение для получения полезных продуктов, пропадают.

Применение этого метода имеет достаточно много ограничений. В научно-практических изданиях [1], имеется информация об пилотных установках по сжиганию пастообразных и жидких нефтешламов. Фактически, утилизация этим методом позволяет избавиться от незначительного объема нефтешламов.

Метод биоремедиации нашел более широкое применение на практике и реализуется в двух технологических решениях: биоремедиация "in-situ" (очистка на месте); биоремедиация "on-site" (вывоз грунта). Метод биоремедиации основан на использовании биопрепаратов различной структуры и делятся на три группы, в зависимости от их биологической структуры, используемой в конкретном препарате: бактериального происхождения; дрожжевого происхождения; смешанного типа. Для ускорения процесса биоразложения нефти, в рабочий раствор биопрепаратов иногда вносятся различные диспергенты в количестве от 0,1 до 1,0 л на 500 л рабочей суспензии (в случае работы с вязкими или засохшими нефтепродуктами). Методы биоремедиации наиболее широко распространены в практике утилизации аварийных разливов нефти на рельеф и акватории различных водных объектов при нефтедобыче и транспортировке нефти и нефтепродуктов.

Химический метод переработки. Суть технологии обезвреживания химическим способом - это смешивание нефтешламов с известью, или другие химические реагенты для снижения класса опасности шлама. Полученная смесь, подвергается прессованию на прессах в формы, в виде брикетов, или пеллет различных типоразмеров. Досушка шламовых брикетов производится естественным обдувом, или методом выдерживания на площадках с твердым покрытием. Подсушенные брикеты вывозятся на захоронение в отведенные (местными и надзорными органами) места – карьеры, полигоны и т.д.

Сепарация нефтешлама. В основе процесса сепарации лежит метод разделения нефтешламов на составляющие, которые имеют различный удельный вес. Процесс разделения осуществляется под действием центробежных сил. В процессе сепарирования образуются три фракции/фазы: 1. легкая фаза - свободная чистая нефть; 2. тяжелая фаза - сточная вода/водная фракция; 3. твердая фаза - твердые вещества, обезвоженный шлам.

Переработкой методом сепарации могут быть подвергнуты нефтешламы с содержанием твердой фазы до 50% (объемных). Сепарация

нефтешлама проводится на центрифугах «двухфазных» и «трехфазных», сепараторах различных конструкций.

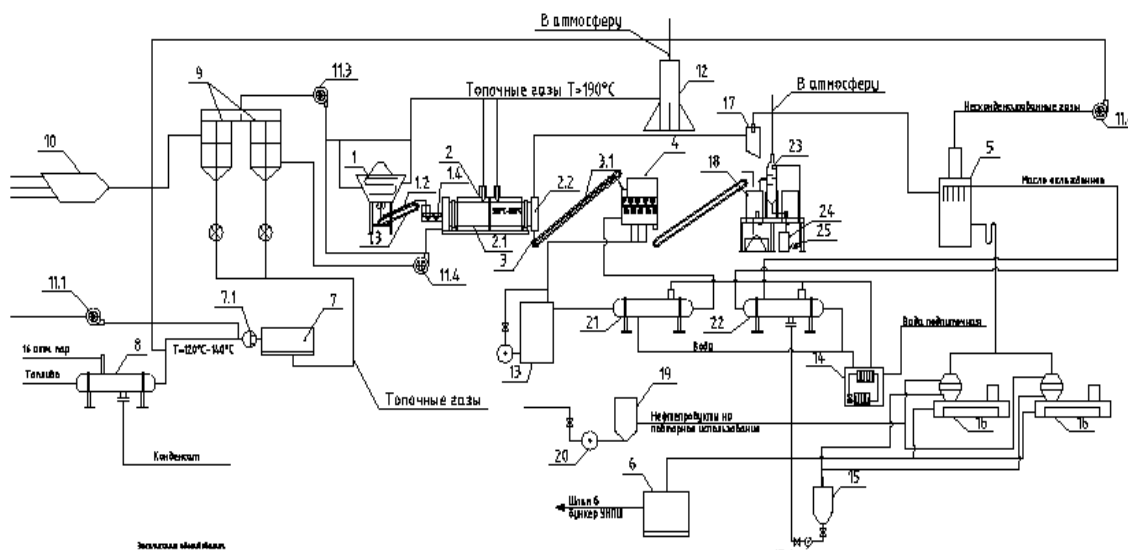
Применение центрифуг позволяет получать продукты: нефтяную фазу, пригодную для вторичной переработки с содержанием воды, не более 1,0%; водную фазу, с содержанием нефти, не более 2 мг/л; твердую фазу и твердый остаток (кек), содержащий до 150 г/кг нефтепродуктов и 20-25% влаги. Недостатком метода сепарации является тот факт, что полученный остаток (кек), как исходный нефтешлам, требует размещения на полигоне опасных отходов.

Термодесорбция. Анализ углеводородного состава кека показал, что в его состав входят: асфальтены, нафталин, ксилол, фенол, пирен, масла, этилбензол и другие. Температуры перехода в газовую фазу (в градусах Цельсия) наиболее часто встречающихся УГВ, содержащих в кеке находятся в пределах 550-600 °С. Процесс необходимо вести в отсутствие кислорода, т.н. процесс пиролиза предотвращая, таким образом, окисление углеводородов [2].

Процесс термодесорбции позволяет провести расщепления тяжелой нефтяной фракции и удалить основную массу УГВ нефтепродуктов, содержащихся в твердых остатках, подаваемых на установку. Для переработки кека, мы предлагаем использовать установку термодесорбции, технологическая схема установки представлена на рисунке 3. Установка позволяет получать: обезвреженный твердый продукт с массовой долей нефтепродуктов менее 0,1 %, который является безопасным материалом минерального происхождения и сконденсированную в скруббере нефтяную фракцию, с массовой долей примесей не более 1,5 %. Нефтяную фракцию можно направить на вторичную переработку. Представленная на рисунке 3 установка термодесорбции состоит из блоков: приема и подготовки (кондиционирования) твердых нефтесодержащих отходов; подготовки теплоносителя; термодесорбции с регенерацией паров углеводородов; охлаждения минерального остатка; регенерации масла; охлаждения воды и масла; пылеулавливания и очистки газовоздушных выбросов.

Краткое описание работы установки термодесорбции. Нагрев кека осуществляется через стенку барабана термодесорбера за счет подачи в «рубашку» барабана топочных газов, т.н. косвенный нагрев. Во время вращения барабана слой кека, соприкасающийся с металлической поверхностью барабана, что улучшает передачу тепла от раскаленной стенки камеры через барабан к загрязненному материалу. Специальные направляющие насадки внутри барабана обеспечивают эффективное перемешивание материала, что способствует максимальному удалению из него углеводородов и усреднению его темпе-

ратуры. Нагретый кек перемещается внутри барабана за счёт наклона последнего и его вращения.



1 – Бункер питатель; 1.2 – Металлоуловитель; 1.3 – Весы ленточные; 1.4 – Питатель; 2 – Барабанная сушилка косвенного обогрева; 2.1 – Камера загрузки; 2.2 – Камера выгрузки; 3 – КПС; 3.1 – Нория; 4 – Смеситель-Охладитель-шнековый; 5 – Адсорбер маяльный; 6 – Зумпф; 7 – Топка; 7.1 – Горелка ГМГ-2; 8 – Подогреватель топлива; 9 – Воздухоподогреватели; 10 – Воздухозаборник; 11.1 – Дымосос; 11.2 – Дымосос; 11.3 – Дымосос; 11.4 – Дымосос; 12 – Дымовая труба; 13 – Емкость для воды; 13.1 – Группа насосов; 14 – Охлаждающая установка ОХУ 500кВт; 15 – Емкость накопитель масла; 15.1 – Насос циркуляции масла; 16 – Сепаратор масла; 17 – Группа циклонов (золуловители); 18 – Накопитель обезвреженного осадка; 19 – Емкость нефтепродуктов; 19.1 – Группа насосов; 20 – Насос перекачки нефтепродуктов; 21 – Теплообменник; 22 – Холодильник масла; 23 – Скруббер-Вентури; 24 – Емкость для воды; 25 – Циркулирующий насос Скруббера-Ветури; 26 – Скиповый подъемник.

Рисунок 3 – Технологическая схема отделения переработки твердых нефтесодержащих отходов методом термодесорбции

Достигается это нагревом отходов до температур, обеспечивающих деструкцию и испарение наиболее "тяжелых" фракций УГВ, а так же недостатком кислорода в барабане. В результате нагрева тяжелые углеводородные фракции подвергаются термическому крекингу с образованием более легких фракций. Процесс идет при относительно невысоких температурах за счет создания вакуума в барабане термодесорбера.

Применяя установку термодесорбции для кека, полученного в процессе сепарации нефтешлама можно получать: нефтяную фракцию, направляемую на вторичную переработку; обезвреженный твердый минеральный остаток, с массовой долей нефтепродуктов менее 0,1 %, который можно использовать без ограничений.

Заключение:

1. Внедрение процесса термодесорбции позволит перерабатывать образующиеся на предприятии нефтешламы и уменьшить безвозвратные потери нефтепродуктов; сократить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу; провести рекультивацию прудов-отстойников, шламонакопителя и вывести их из землепользования.

2. Вернуть в производственный цикл значительную часть УГВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Рыбина. Общее бремя накопленного ущерба//Нефтехимия РФ.-2012. - №04(15) стр.30-33.

2. В.И. Вашук, Б. Г. Меламед (КМТ International Inc.), В. Ю. Жуков, С.С. Злобин, Н. Ф. Калинин, И. Б. Федоров, М.Б. Ходяшев, В.И. Якунин (ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез»), М.А. Чиковани (ОАО ЛУКОЙЛ). Комплекс по переработке нефтесодержащих отходов ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» //Химическая техника. – 2009. – № 12 стр. 26-28.

УДК 637.028

Е.А. Янец, магистрант
(БГТУ, г. Минск)

РЕЦИКЛИНГ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬЮ УПАКОВКИ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

Существует растущее технологическое и экономическое осознание необходимости рассматривать рециклинг как составную часть более крупной задачи по осуществлению разработок и производства в контексте экологической перспективы. Рециклинг упаковочных материалов является неотъемлемой частью процесса производства упаковки и ее использования, что способствует обеспечению технологичности конструкции упаковки.

Под технологичностью понимают совокупность свойств конструкции изделия, обеспечивающую минимизацию затрат при его производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ [1].

Задача обеспечения технологичности изделия может быть решена лишь при условии максимального приближения предлагаемых конструкторско-технологических решений к нормам и принципам, действующим в серийном производстве, к наличной технической и технологической базе предприятия-изготовителя с учетом перспектив ее повышения и экономически оправданного перевооружения.

Понятие технологичности конструкции нельзя рассматривать как нечто неизменное, статичное. Составляющая ее совокупность свойств меняется в зависимости от серийности изделия, парка оборудования, уровня организации производства, квалификации персонала на предприятии и ряда других важных факторов. Таким образом, оптимальное сочетание принимаемых конструктивно-технологических решений с реальными условиями и динамикой развития производства определяют основной круг задач при решении проблемы технологичности [2].

По существу показатели технологичности характеризуют выпускаемую продукцию и технологию ее изготовления, экономику производства и его организацию. Технологичность выступает как фактор, препятствующий увеличению затрат на производство продукции, оптимизирующий эти затраты. Все рассматриваемые показатели взаимосвязаны: экономические показатели зависят от стоимости используемых в изделиях материалов и комплектующих, технология — от объемов производства и производственной структуры, и наконец, все три категории — от трудоемкости изготовления изделия на всех стадиях производственного процесса и т. д.

Основными компонентами технологичности упаковки являются трудоемкость и материалоемкость. Система показателей технологичности состоит из трех групп: основные, дополнительные и вспомогательные.

Основные — показатели, комплексно характеризующие технологичность изделия с точки зрения затрат на его производство. К ним относятся трудоемкость, материалоемкость и элементоемкость, технологическая себестоимость.

Дополнительные — оценочные показатели, характеризующие целесообразность затрат на создание высокой технологичности и степени влияния на производство изготовления технологически обработанного изделия. К ним относится серийность конструкции изделия, уровень организации производства и труда при его изготовлении.

Вспомогательные (частные) — показатели, характеризующие одно какое-либо свойство технологичности и являющиеся, как правило, исходно базой для расчета основных и дополнительных показателей. Вспомогательные показатели всегда относительны и в большинстве случаев представляют собой коэффициенты, которые можно разделить на три подгруппы: конструктивные, технологические и комплексные.

Материалоемкость изделия как показатель технологичности характеризует количество и стоимость материальных ресурсов, необхо-

димых для создания одного изделия, рациональность использования их в процессе производства, а также дает сравнительную оценку снижения или увеличения материалоемкости по отношению к базовому изделию.

Для изделий в целом материалоемкость определяется абсолютным значением массы изделия, запускаемого в серию, и стоимостью всех материалов, которые пошли на его изготовление (включая стоимость технологических отходов). Характеристику материалоемкости и рационального использования материалов дает ряд частных, вспомогательных показателей, которые целесообразно определять при сравнении технологичности запускаемого в серию изделия с предшествующей моделью того же назначения. В данном случае отпадает необходимость устанавливать базовый вариант, мировой стандарт или аналог, что не только затруднительно, но порой и не оправдано. Сравнение с предшествующей или выпускаемой моделью отражает реальное изменение технологичности в конкретных условиях производства, что и требуется от системы показателей.

Элементоемкость изделия определяется абсолютным значением стоимости покупных изделий для изготовления изделия и коэффициентами, характеризующими изменение этой стоимости. В качестве частных показателей выступают различные коэффициенты, характеризующие унифицированность конструктивных решений.

Планирование себестоимости продукции на предприятиях осуществляется на основе отраслевых инструкций, разработанных в соответствии с положениями по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции на промышленных предприятиях и методическими материалами по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции на предприятиях.

Себестоимость складывается из затрат, связанных с использованием в процессе производства продукции, сырья, материалов, покупных изделий, топлива, энергии, труда и основных фондов, а также других затрат на ее производство и реализацию.

В последнее время на смену стеклянным бутылкам пришли полиэтиленовые, полипропиленовые и ПЭТ-бутылки для розлива молока и молочных продуктов. Всего около 30% молочной продукции выпускается в пластиковой таре. Распространенным упаковочным материалом для молока и других молочных продуктов является полиэтиленовая пленка. Она дешевле других материалов, используемых для упаковки молочных продуктов. Большое распространение в последние годы получила упаковка из картона. В нее упаковывается значительный объем молочной продукции. Доля картонной упаковки в 2012 го-

ду составила 60% от общего объема расфасованной молочной продукции [3].

Расчет потребности в упаковочных материалах для цеха средней мощности приведен в таблице.

В расчете указаны виды материалов для упаковывания, норма расхода на одну условную единицу, годовой расход тары и упаковочных материалов и отходы материалов в процессе упаковывания. Как видно из расчетов в цеху образуется около 18 т отходов упаковочных материалов в год.

Конструирование материалов и изделий, способных к рециклингу, должно стать неотъемлемой частью производственного процесса.

Таблица – Расчет вспомогательных материалов по цельномолочному цеху

Показатели	Вид расфасовки				Итого	Отходы при упаковывании
	В упаковку пюр-пак	В упаковку фин-пак	В ПЭТ-бутылку	В полистирольный стаканчик		
Выработка продукта в год, т	4013,00	8886,00	11601,00	576,00	25076,00	—
Материал комбинированный, кг	на 1 т	24,80	—	—	—	0,50
	в год	99 522,40	—	—	—	99 522,40
Пленка полиэтиленовая, кг	на 1 т	—	7,70	—	—	0,23
	в год	—	68 422,20	—	—	68422,20
Стаканчики, кг	на 1 т	—	—	—	82,50	1,65
	в год	—	—	—	47520,00	47520,00
ПЭТ-бутылки, кг	на 1 т	—	—	71,25	—	1,07
	в год	—	—	826571,25	—	826571,25
Этикетка, кг	на 1 т	—	—	3,75	—	0,08
	в год	—	—	43530,75	—	43530,75

Этот инструмент, хотя его трудно использовать с полной отдачей из-за проблемы получения достоверных данных, оценивает общее экономическое и экологическое состояние производственных процессов. Жизненный цикл (ЖЦ) упаковки начинается с производства сырья до регенерации энергии или до утилизации. Рециклинг является лишь одним из элементов ЖЦ и влияет на экономическую и экологическую эффективность рециклированных материалов. Если экономическая выгода от способности к восстановлению материала или компонента

определена, то стоимость материалов снижается [4].

Переработка вторсырья позволяет уменьшить техногенную нагрузку на окружающую среду, бережнее расходовать природные ресурсы. Получение готового продукта на основе переработки вторсырья сопровождается значительно меньшими затратами энергии и, как правило, существенно меньшими выбросами вредных веществ в окружающую среду. При этом предприятие вносит свой посильный вклад в улучшение состояния окружающей среды и на практике реализует концепцию безотходного производства. На предприятиях молочной промышленности целесообразно создание участков сортировки и переработки вторичных полимеров, которые предназначены для переработки полимерных отходов и выпуска качественного рециклированного полимерного сырья (полиэтилена и полипропилена). На таких участках необходимо проводить периодическое обновление парка оборудования, что позволит решать задачи переработки, как простых полимеров, так и сложных композиций из них [5].

ЛИТЕРАТУРА

1.Амиров, Ю. Д. Технологичность конструкций машин как фактор повышения эффективности общественного производства / Ю. Д. Амиров // Вестник машиностроения, 1982. – №3. – С. 70–72.

2.Войчинский, А. М. Технологичность изделий в приборостроении / А. М. Войчинский, Э. Ж. Янсон. – Ленинград: Машиностроение. – 1988. – 232 с.

3. Упаковка для молочной продукции / Пресс [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <http://www.press.com/artephfhp?nauid=568.4>. – Дата доступа: 18.10.2014.

4.Рециклинг полимерных компаундов / POLIMERS LLC // [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://polimers.at.ua/publ/novosti/recikling_polimernykh_kompaundov/2-1-0-833 — Дата доступа: 20.10.2014.

5.Рециклинг полимерных материалов / ДПА // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.dpa.com.ua/rietsiklingh-polimiernykh-materialov/> — Дата доступа: 22.10.2014.

В.Н. Потоцкий, доц., канд. техн. наук.,
С.Г. Ковчур, проф., д-р техн. наук,
(ВГТУ, г. Витебск)

ПРОБЛЕМЫ ХИМИЗАЦИИ В ЛЁГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Технические новшества по модернизации оборудования, внедрение достижений научно-технического прогресса значительно изменили характер технологических процессов в лёгкой промышленности. Для изготовления швейных изделий и обуви всё чаще используются новые синтетические материалы, дублированные и нетканые материалы, химические волокна, искусственную кожу и мех, а также ткани со специальными видами отделок – ветростойкой, несминаемой. В настоящее время в лёгкой промышленности существует более двух тысяч различных видов химических веществ. Причём многие из них настолько токсичны, что были запрещены в любой другой индустрии.

Целью настоящей работы является выявление токсичных химических веществ в технологических процессах лёгкой промышленности и разработка мероприятий по улучшению условий труда и экологической обстановки.

Многие красители содержат целый букет токсичных химикатов. Тяжёлые металлы являются одними из самых распространённых компонентов окрашивающих добавок. Основными химическими веществами, которые могут выделяться при переработке тканей и материалов с полиэфирными волокнами, с нанесённым вспененным латексом являются: аммиак, формальдегид, оксид этилена, этиленгликоль, диметилтерефталат.

В процессе производства одежды из искусственной кожи, меха, нетканых клеевых прокладочных материалов могут выделяться циклогексанон, венилхлорид, венилацетат и другие. Синтетические смолы, смягчители, антистатика имеют высокую токсичность, вредность и опасность для человека и окружающей среды. Перечисленные соединения, проникая в организм ингаляционным путём, вызывают преимущественно поражения органов дыхания. Воздействие формальдегида и других химических соединений может привести к аллергическим дерматитам и даже к раковым заболеваниям. Опасность представляют органические растворители типа перхлорэтилена, трихлорэтилена, диметилформамида. Использование при отбеливании, обезжиривании хлорсодержащих соединений, например, трихлорэтилен иногда приводит к образованию диоксинов. Они токсичны даже в малых концентрациях и устойчивы к химическому и биологическому

разложению.

Больше всего химическому воздействию подвергаются работающие на участках влажно-тепловой обработки, в производственных помещениях, где обрабатываются большие объёмы ткани. Процессы, сопровождающиеся значительным выделением влаги, тепла, газов и пыли следует производить в отдельных помещениях с эффективными системами вентиляции. Операции плиссировки и гофрировки изделий, прессовки, формовки, стирки следует располагать группами с устройством над ними отсекающих завес с вытяжной вентиляцией. Отдельные операции, например, при использовании клея, следует производить в вытяжных шкафах, в которых изделия должны находиться до полного испарения растворителя. Паровые прессы, утюжилные столы с пропариванием следует оборудовать местными системами вентиляции в виде вытяжных зонтов или щелевых отсосов. Для улучшения условий труда и экологической обстановки производственные помещения должны иметь эффективные системы общеобменной и вытяжной вентиляции, аспирационные устройства.

Процессы изготовления обуви состоят из ряда технологических операций, при выполнении которых образуется пыль, причём иногда пылевыведение сопровождается вредными газами. Отделочные и подготовительные операции фрезерования, взъерошивания, шлифования деталей верха и низа обуви относятся к самым запылённым.

На участках, где выделяется большое количество пыли, используются растворители, необходимо строго соблюдать правила пожарной безопасности. Для предотвращения зависания и накапливания пыли и волокон при проектировании систем вентиляции следует максимально ограничить повороты и изгибы воздухопроводов, особенно под острым углом, спуски и подъёмы, периодически производить их очистку.

Аспирационные системы вентиляции являются одним из действенных средств защиты воздушной среды производственных помещений и окружающей атмосферы. Правильно запроектированные и грамотно эксплуатируемые пылеулавливающие системы способствуют снижению профессиональных заболеваний, повышению производительности труда, улучшению качества продукции, а также позволяют обеспечить пожаро- и взрывобезопасность, увеличить срок службы технологического оборудования.

При фрезеровании затяжной кромки верха обуви образуется, кроме стружки, лёгкая, долго витающая пыль, причём пылевые частицы, витающие в воздухе, имеют размеры от 0,5 до 2,0 мкм, содержание которой в рабочей зоне может достигать 20-30 мг/м³. Наиболее

важными характеристиками пыли являются дисперсность и пожаро-взрывоопасность, а для разработки оптимальной конструкции аспирационных устройств – плотность и дисперсность.

Важным свойством кожевенной пыли является её сильно развитая поверхность, которая и определяет адсорбционную способность пыли, склонность к электризации и в значительной степени её химическую активность. Наиболее взрывоопасными являются фракции кожевенной пыли до 250 мкм. При взъерошивании верха обуви образуется до 30 % такой пыли. Способность накапливать пары растворителя, адсорбированный на пылевых частицах кислород облегчает процессы окисления и восстановления пылевоздушных аэрозолей, что значительно повышает пожаро- и взрывоопасность пылевидных отходов. В производственных условиях значительную опасность представляет не только взвешенная, но и осевшая пыль. При возникновении даже в самой небольшой локальной вспышке осевшая пыль быстро переходит во взвешенное состояние, что приводит к образованию вторичного, более сильного пылевого взрыва. Взрывная ударная волна, опережая фронт пламени, приводит во взвешенное состояние по пути своего движения всё большее и большее количество пыли, вызывая этим быстрое распространение пламени.

Для улавливания и удаления пыли при взъерошивании верха обуви, которая ранее оседала и за счёт компонентов «пуры», налипала на оборудование, внутреннюю часть воздухопроводов, была разработана система пневмотранспорта с пылеприёмником местного отсоса пыли. Принцип действия системы состоит в том, что при взъерошивании кромки заготовки верха обуви при помощи фрезы, пыль попадает в зону разреженного воздуха и всасывается в отверстие пылеприёмника. Фреза приводится в движение пневмотурбиной от компрессорного воздуха. Пылеприёмник состоит из двух частей, одна из которых вращается относительно другой, что облегчает процесс взъерошивания при сложном её профиле. Нижняя часть пылеприёмника выполнена в виде «улитки» с внутренней стороны которой установлена изогнутая пластинка, позволяющая направить пыль в патрубок пылеприёмника. Пылеприёмник данного типа можно использовать в деревообрабатывающей, машиностроительной и других отраслях промышленности. Патрубок пылеприёмника с полихлорвиниловой трубкой диаметром 20 мм соединяется со всасывающим рукавом промышленного пылеуловителя НПП-2.

На основе теоретических и экспериментальных исследований удалось обеспечить эффективность пневмотранспортной системы до 98 %.

При изучении взрыво- и пожаробезопасности аспирационной системы экспериментальные исследования показали, что движение пыли в полихлорвиниловой трубке осуществляется в малом ограниченном объёме воздушной среды и носит периодический характер и воспламенение пыли в этом случае невозможно.

Таким образом в настоящей статье выявлены основные токсичные химические вещества в швейном и обувном производстве, их действие на работающих и предложены меры защиты от них. Эффективные системы вентиляции, кондиционирования воздуха в цехах предприятий лёгкой промышленности позволят значительно улучшить условия труда, экологическую обстановку и пожарную безопасность.

УДК 536.46

Г.С. Столяренко, проф., д-р техн. наук;
В.Н. Вязовик, доц., канд. техн. наук
(ЧГТУ, г.Черкассы, Украина)

ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ

Для более полного сгорания угля необходимо, чтобы все компоненты топлива загорались одновременно и горели с одинаковой скоростью. Достигнуть этого возможно только в случае сближения скоростей всех стадий процесса горения. Необходимо, чтобы вокруг каждой твердой частицы имелось достаточное количество кислорода, а окислительная способность дутья была повышена за счет синтеза кислородсодержащих радикалов. Если в топливно-воздушном потоке обеспечивается одновременное воспламенение всех составляющих компонентов, то кислород воздуха будет равномерно израсходован на горение всех компонентов топлива. Таким образом, удастся избежать дефицита кислорода при горении угольной частицы. Отсюда следует, что все компоненты топлива должны загораться в сравнительно узкой зоне воспламенения. Это возможно только в случае электрокатализа – введение разряда и катализатора в предпламенную зону.

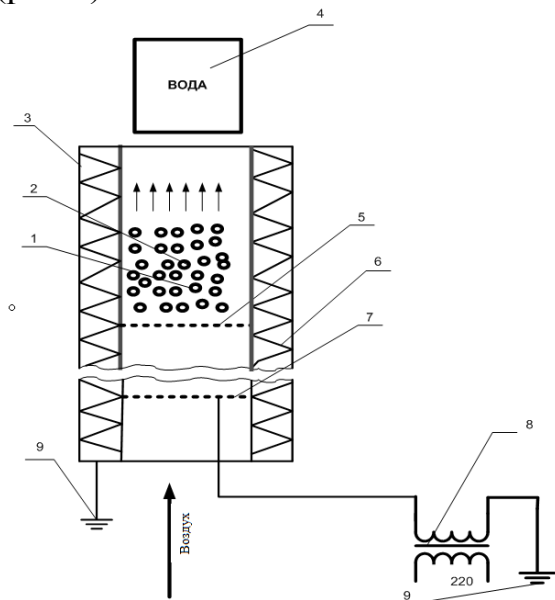
Воздействие радикального дутья снижает разницу энергий активации первичных эндотермических процессов, расширяет зону воспламенения и нивелирует скорости горения различных компонентов твердого топлива, что приводит к снижению недожога.

Исходя из всего вышесказанного, следует, что предлагаемый способ интенсификации горения твердого топлива, суть которого заключается в использовании высокочастотных полей высокого напря-

жения и радикальных каталитических процессов, должен привести к более полному сгоранию топлива при минимизации коэффициента избытка воздуха. В зоне электрического разряда на катализаторе образуются атомы и радикалы O , HO^{\bullet}_2 , HO^{\bullet} , RO^{\bullet} , RO^{\bullet}_2 (активность которых в 10^5 – 10^7 раз выше, чем у кислорода). Такое дутье в свою очередь инициирует дополнительные цепи горения топлива, что приводит к более полному выгоранию углерода из золы.

Поставлена задача: изучить и разработать аппаратуру метода электрокатализа – частичной замены термической энергии активации на электронно-ионную активацию в зоне электрического разряда. В процессах электрокатализа преодоление энергии активации осуществляется за счет следующих актов: синтеза и гашения кислородсодержащих радикалов; получения энергвозбужденных и реакционноспособных атомов и молекул за счет потока свободных электронов; волнового влияния разряда на систему в зоне катализатора; ультрафиолетового облучения; термического влияния барьерного разряда. Используя резонансные частоты для молекул воды, достигается разложение её на радикалы, что минимизирует непроизводительные затраты тепла на разложение кристаллогидратов, испарение и нагревание воды.

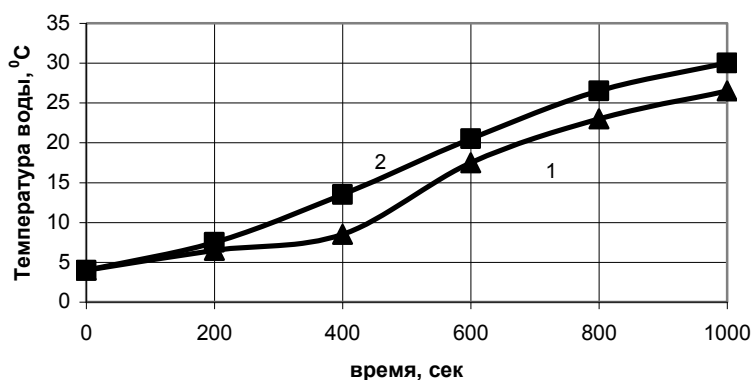
Эксперименты по оптимизации горения твердого топлива проводились на установке, которая состоит из: камеры сгорания с разрядным устройством; термостата; источника питания разрядного промежутка и компрессора (рис.1).



1 – камера сгорания; 2 – уголь; 3- керамическая трубка; 4 – емкость с водой;
5 – подовая сетка; 6 – термостат; 7 – высоковольтный электрод;
8 – источник питания.

Рисунок 1 – Лабораторная установка по оптимизации процесса горения твердого топлива

Разрядное устройство представляет собой комплект сетчатых электродов с нанесенным на них катализатором, которые размещались в электротермостате. Воздух, который перед соприкосновением с углем проходил через электроды, подавали снизу в камеру сгорания. Исследования проводили с углем, частицы которого имели размер $2 \pm 0,25$ мм. В камеру сгорания загружали 1 кг угля, который поджигали с помощью электротермостата. После воспламенения электроподжиг отключали. Выход тепла определяли по температуре нагрева постоянного количества воды. Замер температуры воды производили через каждые 3 минуты. Суммарное время подъема температуры воды принимали за время выгорания порции угля, максимальная температура воды составляла 90°C . Время выгорания угля для навески 1 кг зависит от количества подаваемого воздуха и колеблется от 40 до 50 минут. Уголь сжигали без включения разрядного устройства (холостой опыт) и с включением источника высокого напряжения.



1 – без обработки; 2 – с обработкой.

Рисунок 2 – Зависимость изменения температуры воды при сжигании твердого топлива на электродах с напылением

При сжигании угля в зоне разряда наблюдается ускоренный нагрев воды, что свидетельствует о выделении большего количества тепла, чем при холостом опыте (рис.2). Удельная мощность выделения тепла при холостом опыте составляет 112565 Вт/кг, тогда как при использовании разряда она достигает 153842 Вт/кг, что больше на $26,8\%$. Расход электроэнергии на создание разряда не превышал $3-5\%$ от полученного избытка тепловой энергии.

Определена степень выгорания угля из золы при проведении сравнительных экспериментов. Для этого была определена зольность угля и степень выгорания при сжигании без разряда и с разрядом. Степень выгорания угля при холостом опыте составляет $72 \pm 2\%$ (что соответствует котлам, имеющим топку с цельной решеткой); степень выгорания угля при использовании разряда достигает 89% . Увеличение степени выгорания составило в среднем $17,45\%$.

При использовании данного метода оптимизации процесса горения твердого топлива наблюдается снижение содержания оксида углерода (II) в дымовых газах на 60-80%; оксидов азота до 40%; альдегидов и бенз(а)пиренов до 40-55%; сажи до 60%. В связи с возможностью работать при коэффициенте избытка воздуха меньше 1,17-1,19 объем отходящих газов снижается на 5-15%.

Результаты, полученные на стендовой лабораторной установке, были проверены в полупромышленных условиях с использованием бытового котла малой мощности. Для нестационарного режима работы котла практически подтверждены результаты предыдущих испытаний при обработке дутья и топлива перед зоной горения. Степень выгорания угля при стационарном режиме повышается с 89% до 95% и средняя экономия топлива составила 12,5-14%.

Для сжигания твердого топлива на электростанциях разработан керамический блок электрокаталитической активации топлива. В качестве электродов используется внутренний металлический корпус блока. В качестве заземленного электрода используется уголь, через который проходит электрический разряд. Этот блок предлагается установить на топливопроводах, непосредственно перед вводом топливно-воздушной смеси в циклон. Для реализации электрокатализа в промышленных условиях при монтаже дополнительного оборудования необходимо решить вопрос предупреждения образования взрывоопасных пылеугольно-воздушных смесей; снизить абразивный износ, повысить износостойкость изоляционной керамики высоковольтного электрода; решить проблему времени эксплуатации высоковольтного электрода; определить оптимальные условия путем подбора резонансного напряжения и частоты тока.

Экономический эффект при использовании предлагаемой технологии составит 703200\$. Срок окупаемости не превышает 8 месяцев.

Таким образом, предлагаемый способ [1,2] интенсификации процесса горения приводит к полному выгоранию твердого топлива и повышению КПД котла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. № 82036 України. МПК F 23 В 10/00, F 23 С 13/00. Спосіб інтенсифікації спалювання газоподібного палива. Столяренко Г.С., Вязовик В.М., Марцінишин Ю.Д. заявл. 04.09.2007 ., опубл. 25.02.2008 .Бюл №4.
2. Патент № 12116 Білорусії, МПК F23В 10/00, F23С 13/00 Спосіб інтенсифікації сжигания твердого топлива / Столяренко Г.С., Вязовик В.М., Водяник О.В., Марцінишин Ю.Д. заявитель и патентодержатель ПП "Радикал плюс" та ТОВ «НВП УкрТрансКом», № а20071030; заявл. 16.08.2007; опубл 21.04.2009р.

Н.С. Метельская¹, канд. физ.-мат. наук
В.П. Кабашников¹, доцент, д-р физ.-мат. наук

О.С. Залыгина², доцент, канд. техн. наук
(¹Институт физики НАН Беларуси, г. Минск, ²БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ В КОНТРОЛЕ СОДЕРЖАНИЯ АЭРОЗОЛЯ В АТМОСФЕРЕ

В настоящее время аэрозоль относят к приоритетным загрязнителям атмосферного воздуха наряду с оксидом углерода, диоксидом серы, оксидами азота и углеводородами. Содержание аэрозоля в атмосферном воздухе в значительной мере определяет экологическую обстановку в регионе.

Степень воздействия на здоровье человека, окружающую среду и климат Земли существенно зависит от химического состава и размера аэрозолей. Аэрозоль различных размеров и химического состава по-разному рассеивает и поглощает солнечную радиацию. Модификация свойств облаков и изменение содержания газовых примесей вследствие химических реакций также зависит от химического состава аэрозолей. Поэтому одной из центральных задач современной физики и химии атмосферы является исследование распределения атмосферного аэрозоля по химическому составу и размерам частиц.

Поступление аэрозоля в атмосферу над территорией Беларуси происходит от природных и антропогенных источников и в результате регионального и трансграничного переноса. Наиболее крупными стационарными антропогенными источниками выбросов аэрозолей на территории Беларуси являются ТЭЦ, предприятия химической промышленности ("Беларуськалий", "Гродно Азот", "Гомельский химический завод", "Белшина"), стройматериалов ("Белорусский цементный завод", "Красносельскстройматериалы", "Кричевцементошифер", "Гомельстекло"), целлюлозно-бумажной промышленности ("Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат") [1].

Измерения содержания аэрозоля в атмосфере проводятся как контактными, так и дистанционными методами. Локальные измерения концентрации аэрозоля контактными методами осуществляются на стационарных наземных станциях мониторинга, с аэростатов, самолётов и кораблей. В Беларуси сбор информации о содержании аэрозоля в приземном слое атмосферы ведётся в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (НСМОС) на пунктах наблюдений в Березинском заповеднике и в 20 промышленных городах республики, включая областные центры, а также города Полоцк, Новополоцк, Оршу, Бобруйск, Мозырь, Речицу, Светлогорск,

Пинск, Новогрудок, Жлобин, Лиду, Солигорск, Борисов и Барановичи [1].

Мониторинг содержания аэрозоля в глобальной атмосфере дистанционными методами проводится на основе пассивных радиометрических, спектрометрических, поляриметрических измерений и лидарного зондирования со спутников и наземных станций. Ценным источником информации о содержании аэрозоля в атмосфере являются измерения в радиометрической сети AERONET (Aerosol Robotic Network) [2, 3], осуществляемые с помощью солнечных фотометров наземного базирования. В Беларуси станция сети AERONET находится в Минске в Институте физики Национальной академии наук.

Однако наземные измерения возможны только в ограниченном числе географических точек, а спутниковые происходят с большими временными интервалами. Некоторые характеристики аэрозолей в настоящее время вообще не измеряются на регулярной основе. Для получения целостной картины пространственно-временного распределения аэрозолей и их распределения по размерам и составу необходимо привлечение моделирования. Одной из наиболее распространённых и бурно развивающихся химико-транспортных моделей является GEOS-Chem [4, 5]. Модель GEOS-Chem является коллективной собственностью научного сообщества её пользователей. Координируют разработку Гарвардский университет (США) и университет Дальхауз (Канада). Входными данными для модели являются базы данных поступления химических компонентов и аэрозолей в атмосферу и метеорологические данные. Результатом моделирования является распределение содержания атмосферных примесей в пространстве и времени. Ядро химического механизма включает взаимные превращения озона, оксидов азота и углеводородов. Модель позволяет получить пространственно-временное распределение основных типов атмосферного аэрозоля: сульфатного, аммонийного, нитратного, сажи (неорганического, или чёрного углерода), минеральной пыли с распределением по размерам, морского соляного аэрозоля тонкой и грубой фракций, аэрозоля на основе органических соединений. Базы данных поступления аэрозолей в атмосферу включают антропогенные выбросы, выбросы в результате сжигания биотоплива, горения биомассы, извержений вулканов, поступления из морской воды, выветривания. В модель включены микрофизические процессы: образование частиц, рост, коагуляция, осаждение и вымывание. Нитраты, сульфаты, аммоний, морская соль и вторичные органические аэрозоли считаются гидрофильными, минеральная пыль – гидрофобной. Углерод (как органический, так и неорганический) подразделяется на гидрофильную и

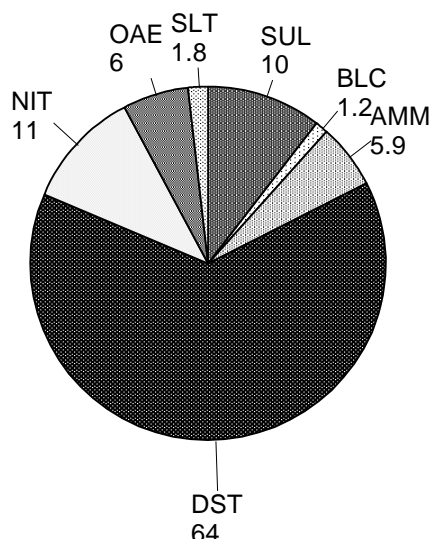
гидрофобную формы.

Для валидации модельных расчётов зачастую используются данные сети фотометров AERONET, которые рассматриваются мировым научным сообществом как достаточно надёжные. Нами проведено сравнение среднемесячных объёмных концентраций суммарного аэрозоля, измеренных на станции AERONET в Минске и рассчитанных по модели GEOS-Chem. Результаты представлены на рисунке 1. Совпадение можно считать хорошим. Таким образом, результаты моделирования могут использоваться для контроля распределения аэрозоля над территорией Беларуси. По результатам моделирования создана база данных пространственного распределения среднемесячных объёмных концентраций аэрозоля тонкой фракции, грубой фракции и суммарного аэрозоля и база данных распределения аэрозоля по размерам и химическому составу. Результаты расчёта показали, что аэрозоль в среднегодовом усреднении распределён над территорией Беларуси практически равномерно.



Рисунок 1 – Среднемесячные объёмные концентрации суммарного аэрозоля, измеренные фотометром AERONET в Минске и рассчитанные по модели GEOS-Chem

Модель GEOS-Chem позволяет выяснить состав аэрозоля над территорией Беларуси. На рисунке 2 показан рассчитанный состав аэрозоля (процентное содержание массовой концентрации фракций по отношению к массовой концентрации суммарного аэрозоля) над Беларусью (пространственное усреднение по территории страны, временное усреднение – 2010–2013 годы). Основной аэрозольной фракцией в Беларуси является минеральная пыль (64 %), далее следуют нитраты и сульфаты, органический аэрозоль, аммиак, и небольшую долю (до 2 %) занимают морской соляной аэрозоль и неорганический углерод (сажа).



SUL – сульфат; AMM – аммонийный аэрозоль; NIT – нитраты;
 BLC – неорганический углерод; DST – минеральная пыль;
 SLT – морской солевой аэрозоль; OAE – органический аэрозоль
Рисунок 2 – Фракционный состав аэрозоля над Беларусью, усреднение за 2010–2013 гг.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 2012 г. / Под ред. В.Ф. Логинова. – Минск, 2013. – 378 с.
- 2 AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization / B.N. Holben [et al.] // Remote Sens. Environ. – 1998. – V. 66. – P. 1–16.
- 3 AERONET Aerosol Robotic Network [Electronic resource]. – Mode of access: <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>
- 4 Global modeling of tropospheric chemistry with assimilated meteorology: Model description and evaluation / I. Bey [et al.] // J. Geophys. Res. – 2001. – Vol. 106. – P. 23073–23096.
- 5 GEOS-Chem Model [Electronic resource]. – Mode of access: <http://acmg.seas.harvard.edu/geos>.

УДК 510.1:621.1:330.138

Б.Х. Драганов, д-р техн. наук
 (НУБиП Украины)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ТЕОРЕТИКО-ГРАФОВЫХ ПОСТРОЕНИЙ

Одна из наиболее актуальных проблем современности заключается в экономии энергетических ресурсов как в промышленных процессах так и в быту. Непрерывно растущие затраты на производство энергии и связанные с этим глобальные экологические проблемы требуют разработки энергосберегающих технологий, основанных на со-

временных достижениях науки.

Эффективное средство в решении указанной проблемы заключается в оптимизации используемых энергетических структур и их параметров с целью минимизации капитальных и эксплуатационных затрат при соответствующих технических и ресурсных ограничениях.

При решении оптимизационных задач удобно пользоваться методом, основанным на теоретико-графовых построениях [1, 2]. Заметим, что теория графов относится к разделу прикладной математики и с ее помощью успешно решаются задачи во многих областях: электротехники, энергетики, транспорта, энергоэкономики и др. Преимущество использования метода теоретико-графовых построений заключается в том, что он удобен при выполнении исследования значительного количества вариантов и позволяет определить тот, который в наибольшей степени соответствует критерию оптимизации.

Оптимизация любой энергосберегающей системы означает вариации структуры и параметров с целью минимизации капитальных и эксплуатационных затрат при соответствующих технических и ресурсных ограничениях, обеспечение защиты окружающей среды, доступность материалов и создание условий эксплуатационной надежности и невысокой стоимости ремонта.

При исследовании сложных технических систем необходимо выполнить структуризацию объекта как системы взаимосвязанных элементов с учетом собственных им специфических характеристик и процессов, привести перечень анализируемых проблем и возможной динамики развития отдельных элементов системы.

Понятие эксергии как максимальной работоспособности удобно использовать при рассмотрении степени совершенства различных процессов с точки зрения превращения энергии [3, 4].

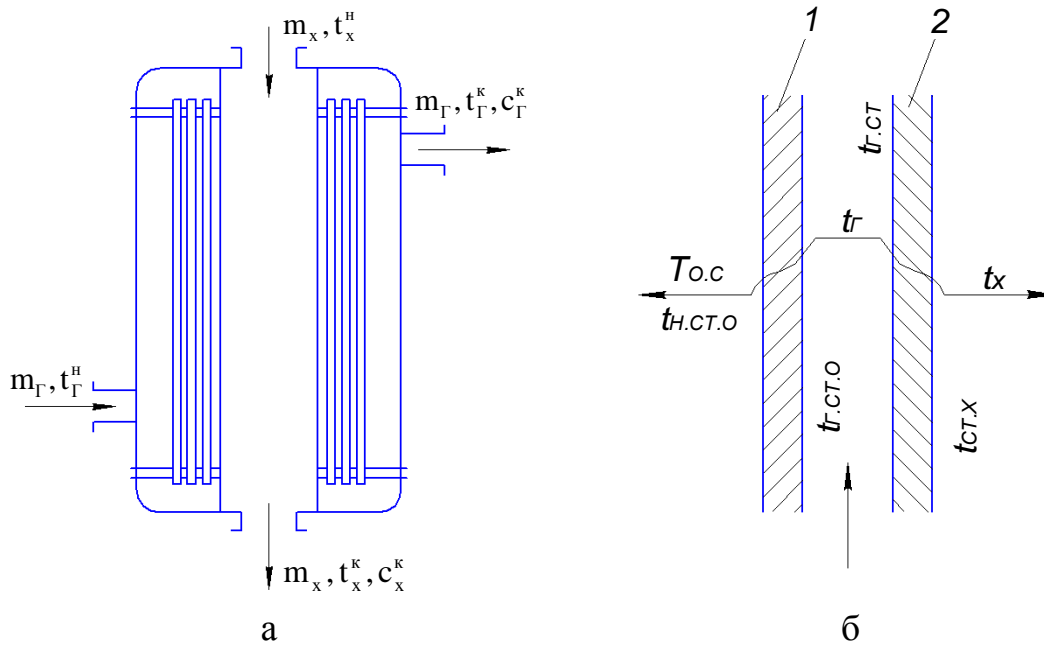
Любую энергетическую систему можно представить как упорядоченную совокупность физических компонентов, объединенных между собой точками (полюсами) связи. Каждому простому физическому компоненту соответствует некоторая ветвь графа, называемая полюсным графом этого физического компонента.

Граф можно представить при помощи матриц. Матричное представление графов позволяет отобразить структурные особенности графов.

Граф можно отобразить при помощи следующих матриц: матрицы ветвей [L], матрицы смежности [H], матрицы циклов [M], матрицы отсечений [N], цикломатической матрицы [C], матрицы инцидентий [S]. Для решения задач анализа и синтеза энергосберегающих систем наибольший интерес представляет матрица инцидентий.

Пусть имеется оргграф $G(V,E)$, состоящий из $v=|V|$ вершин и $e=|E|$ друг. Матрица инциденций $|S|$ орграфа $G(V,E)$ – это матрица порядка $(v \times e)$, строки которой соответствуют вершинам, а столбцы – ребрам графа с элементами.

Изложенный метод используем для оптимизации трубчатого теплообменного аппарата (рис. 1).



а – общий вид теплообменника; б – элемент теплообменника с изображением схемы теплообмена

Рисунок 1 – Кожухотрубный ТА

Оптимизация изучаемой системы – это определение наилучших из всех возможных вариантов системы относительно выбранного критерия ее эффективности.

Комплексная, системная оптимизация имеет целью выбор таких значений параметров системы (технологических, конструктивных и пр.), которые обеспечивали бы оптимальные или близкие к оптимальному значения критерия эффективности

$$Z_{opt} = \underset{x_j \in R^n}{extr} \{Z(x_j)\}, \quad (1)$$

при ограничениях

$$f_i(x_j) > 0, i = 1, 2, \dots, m; \quad (2)$$

$$q_k(x_j) > 0, k = 1, 2, \dots, L, \quad (3)$$

где R^n n - мерное действительное векторное пространство.

Нетрудно видеть, что сформулированное условие оптимизации представляет собой многоэкстремальную большемерную задачу дискретного нелинейного программирования, усложненную ограничениями (2) и (3).

Этот метод, опираясь на хорошо разработанный математический аппарат теории графов, позволяют анализировать и получать оптимальные компоновки системы достаточно просто, не уступая при этом по строгости математического подхода и общности полученных результатов другим математическим моделям и методам.

Ниже приведен алгоритм эксергетического и термозкономического анализа энергетических систем.

Алгоритм $АП_{\Sigma}$ – определение потерь эксергии в энергетической системе. Алгоритм состоит из следующих основных шагов:

I. Построить соответствующий данной системе эксергетический потоковый граф $E=(A,U)$, матрицу инциденций $\|M_{ij}\|$ и рассчитать эксергии потоков по дугам $E_j, j = 1, 2, \dots, n$.

II. Для всех элементов $i = 1, 2, \dots, m$ определить входящие ($M_{ij} = 1$) и выходящие ($M_{ij} = -1$) потоки, рассчитать суммы E_j^{BX} и E_j^{BYX} потоков эксергии I -х элементов и степени их термодинамического совершенства.

III. Рассчитать суммарные потери эксергии

$$\Pi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \Pi_i \quad (4)$$

Понятно, что величина E_{Σ}^{BX} представляет собой сумму таких потоков E_j , которым в матрице инциденций отвечают столбцы, не содержащие -1 , т.е. эти потоки не выходят ни из одного элемента рассматриваемой системы, а являются только входящими для нее или, что то тоже, столбец содержит только $+1$ [6].

В основу анализа теплообменных систем следует положить математическую модель протекающих в них физических процессов. Это позволяет связать характеристики входных параметров теплообменного аппарата (например, значения температуры входного технологического потока) с параметрами выходного потока и характеристиками состояния теплообменников с учетом технологических связей между ними.

Рассмотрим кожухотрубный, одноходовой теплообменник с коридорным расположением труб (рис. 1). Приведенные ниже положе-

ния в принципе применимы для теплообменников с шахтным расположением труб, а также для пластинчатых теплообменников. Указанные на схеме параметры процесса в дальнейшем повторяются. Структурный граф процесса теплообмена в ТА представлен на рис. 2.

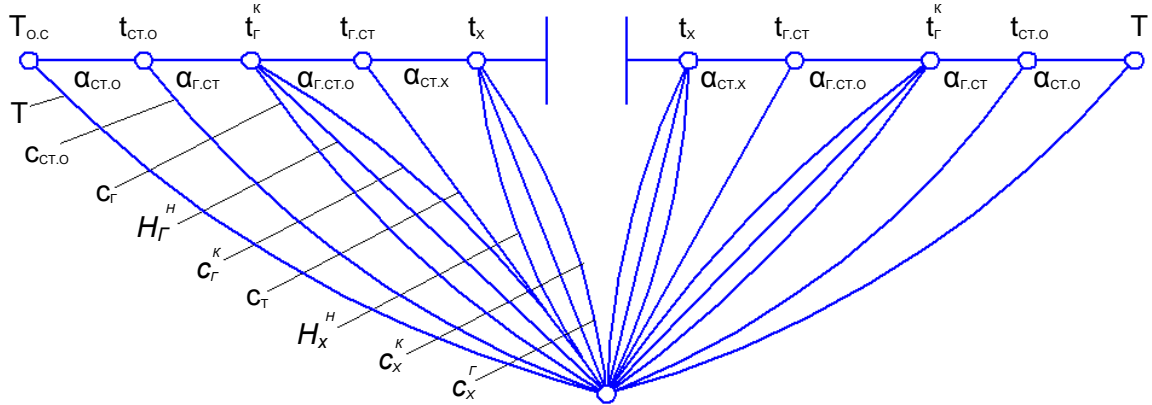


Рисунок 2 – Структурный граф процесса теплообмена в ТА

Применим такие обозначения: $m_{г}$, $m_{х}$ – массовые расходы горячего и холодного потоков; $t_{г}^H$, $t_{х}^H$ – начальные температуры горячего и холодного потоков; $t_{г}^K$, $t_{х}^K$ – конечные температуры горячего и холодного потоков; $T_{o.c.}$ – температура окружающей среды; $c_{г}^K$, $c_{х}^K$ – удельные теплоемкости горячего и холодного потоков на выходе из ТА; $t_{н.ст.о}$ – температура наружной поверхности стенки со стороны окружающего воздуха; $t_{г.ст.}$ – температура поверхности трубы со стороны горячего потока; $a_{г.ст.}$ – коэффициент теплообмена между горячим потоком и внутренней поверхностью кожуха; $a_{ст.т.}$ – коэффициент теплообмена между внутренней стенкой трубы и холодным потоком; $a_{г.ст.о}$ – коэффициент теплообмена между горячим потоком и внешней стенкой трубы; $a_{ст.о}$ – коэффициент теплообмена между внешней стенкой и внешней окружающей средой; $c_{ст.о}$ – теплоемкость внешней стенки (кожуха); $c_{г}^K$ – теплоемкость горячего потока на выходе из аппарата; $c_{х}^K$ – теплоемкость холодного потока на выходе; $c_{г}$, $c_{х}$ – теплоемкость горячего и холодного потоков на входе; $H_{г}^H$, $H_{х}^H$ – энтальпии горячего и холодного потоков на входе в ТА.

Отметим, что значения T_0 и H_0 , относящиеся к окружающей среде, считаются известными.

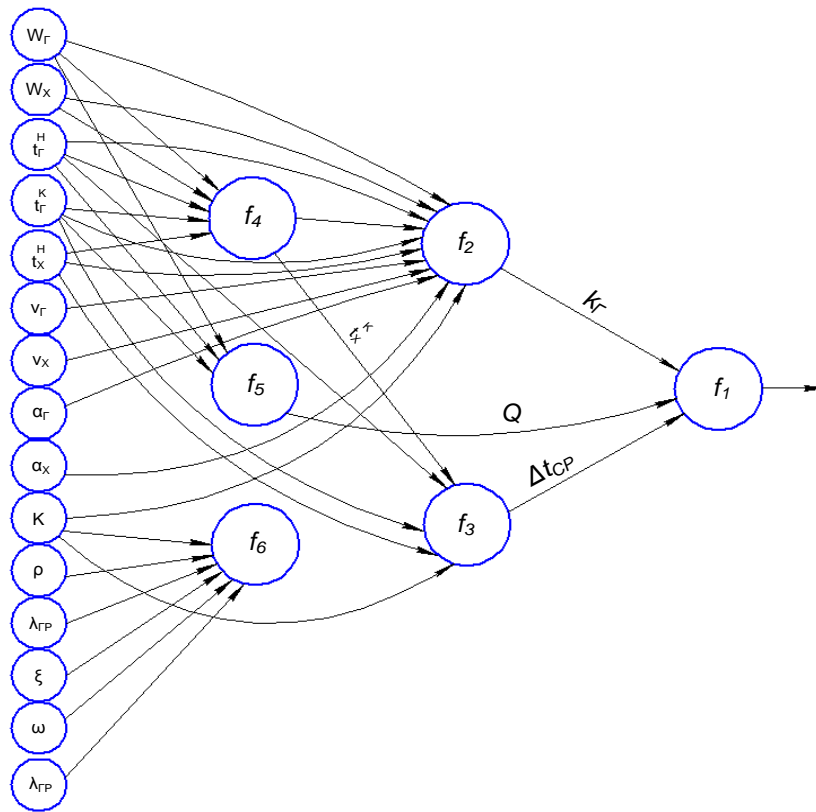


Рисунок 3 – Информационный граф системы уравнений математической модели ТА

В структурном графе процесса теплообмена узловая точка O соответствует базовой точке измерения температуры ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Прежде чем представить полюсные уравнения в матричной форме, изложим исходные предпосылки.

В теплообменнике в каждом ряду имеется i труб; количество рядов j . Примем, что по мере перемещения горячего потока от входного к выходному сечению коэффициенты теплообмена со стороны наружной поверхности труб $a_{Г.ст.0}$ и стороны внутренней поверхности труб $a_{ст.Г}$ не изменяются. В тех случаях, когда в процессе теплообмена имеет место изменение агрегатного состояния одного из потоков, также принимается, что коэффициенты теплообмена $a_{Г.ст.0}$ и $a_{ст.Г}$ имеют постоянное значение во всем объеме теплообменника. Их можно обозначить и $a_{Г.ст.0}^{эф}$ и $a_{ст.Г}^{эф}$ они обеспечивают те же условия теплообмена, что и их переменные значения.

Кроме того, не будем учитывать термическое сопротивление стенки трубы вследствие его малого значения по сравнению с термическим сопротивлением со стороны процессов конвективного теплообмена.

Полюсные уравнения составляющих процесса теплообмена в

матричной форме имеют вид:

Для эксергетической оценки теплообменного аппарата определим его эксергетический КПД:

$$\eta_{ex} = \frac{E_{вых}}{E_{ex}} = \frac{E_{ex} - E_{п}}{E_{ex}}, \quad (5)$$

где E_{ex} – подведенная к теплообменнику эксергия; $E_{вых}$ – эксергия, отведенная от ТА; $E_{п}$ – потери эксергии в аппарате.

Потери эксергии в теплообменном аппарате обусловлены необратимым теплообменом из-за конечной разности температур E_T ; гидравлическим сопротивлением при течении теплоносителей E_ρ , потерями теплоты в окружающую среду E_c , т. е.

$$E_{п} = E_T + E_\rho + E_c.$$

Примем индекс "о" для охлаждаемого потока теплоносителя и индекс "н" для нагреваемого потока.

Общие потери эксергии при теплообмене из-за конечной разности температур между теплоносителями

$$E_T = E_q^o - E_q^H = Q\Delta\bar{\tau}_e, \quad (6)$$

где E_q^o, E_q^H – эксергии соответствующих потоков; Q – тепловая нагрузка теплообменника; $\Delta\bar{\tau}_e$ – средняя разность эксергетических температурных функций потоков "о" и "н" при охлаждении первого потока и нагреве второго.

Эксергетическая температурная функция

$$\bar{\tau}_e = 1 - T_{o.c}/T,$$

$$E_q^H = \Delta\bar{\tau}_e. \quad (7)$$

Потери эксергии от конечной разности температур при теплообмене будут равны

$$E_T = Q[(1 - T_{o.c}/T_H) - (1 - T_{o.c}/T_o)] = QT_{o.c}((T_H - T_o)/T_H T_o). \quad (8)$$

Пользуясь понятием водяного эквивалента $W = m_r c_r \approx m_x c_x$, получим

$$E_T = T_{o.c} W \ln \frac{T_x^K T_\Gamma^K}{T_x^H T_\Gamma^H}. \quad (9)$$

Эксергетический КТД теплообмена ($E_\rho = E_{o.c} = 0$):

$$\eta_{ex} = E_q^o / E_q^H = Q\tau_e^o / Q\tau_e^H = \tau_e^o / \tau_e^H = \Delta E_{o.c} / \Delta E_H, \quad (10)$$

где $\Delta E_o, \Delta E_H$ – изменение эксергии охлаждаемого и нагреваемого по-

ТОКОВ.

Потери эксергии от гидравлического сопротивления в ТА определяются соотношением:

$$E_p = T_{o.c} R \ln \frac{p_{\text{ВЫХ}} + \Delta p}{p_{\text{ВЫХ}}}, \quad (11)$$

где $\Delta p = p_{\text{ВХ}} - p_{\text{ВЫХ}}$ – падение давления в системе.

При $\Delta p / p_{\text{ВЫХ}} \ll 1$ потеря эксергии от гидравлического сопротивления

$$E_p = mRT_{o.c} \Delta p / p_{\text{ВЫХ}}. \quad (12)$$

Потери эксергии от теплообмена с окружающей средой

$$E_s = Q \Delta \bar{t}_e = E_{qo.c}^o + E_{qo.c}^H = m_H Q_H \left[1 - \frac{T_{o.c}}{T_{H.o}} \right] + m_o Q_o \left[1 - \frac{T_{o.c}}{T_{o.o}} \right], \quad (13)$$

где $T_{H.o}$ – средняя температура наружной поверхности ТА со стороны H ; $T_{o.c}$ – средняя температура наружной поверхности ТА со стороны охлажденного потока.

Потери эксергии от теплообмена с окружающей средой E_s могут быть определены с использованием значений энтальпии потоков

$$E_s = m_H c_H (t_{H.o} - t_{o.c}) + m_o c_o (t_{o.o} - t_{o.c}),$$

где c_H и c_o – теплоемкости соответствующих потоков.

В результате можно записать выражение для эксергетического КПД теплообменного аппарата:

$$\eta_{ex} = \frac{E_{\text{ВХ}} - E_T - E_p - E_s}{E_{\text{ВХ}}} =$$

$$= 1 - \frac{T_{o.c} \left[m_r R \frac{\Delta p_r}{p_{\text{Г.ВЫХ}}} + m_x R \frac{\Delta p_x}{p_{\text{Х.В.В}}} + m_r c_r \ln \frac{T_r^K}{T_r^H} + m_x c_x \ln \frac{T_x^K}{T_x^H} \right] - Q \Delta \bar{t}_{es}}{Q \frac{T_r^H - T_{o.c}}{T_r^H}}, \quad (14)$$

где $\Delta \bar{t}_{es}$ – средняя эксергетическая температура изоляции ТА.

С изменением структуры установки или значения исходных параметров определяют оптимальный вариант по энергетическим показателям.

Заключение

Оптимизация любой энергетической системы означает поиск схемного решения (в первую очередь, модификацию структуры) и соответствующих параметров с целью минимизации энергозатрат с учетом существующих ограничений и требований в области использования энергии (защита окружающей среды, безотказность и стабильность действий, надежность управления режимом работы в процессе эксплуатации).

Энергетическая система имеет определенную технологическую структуру, т.е. состоит из ряда взаимосвязанных элементов, характеризуется заданными параметрами, взаимодействует с окружающей средой.

Метод теоретико-графовых построений имеет то преимущество, что исследуемые структуры представлены в наглядной форме и удобно выбрать возможные варианты решения. Разработаны алгоритмы решения подобных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харари Ф. Теория графов. – М.: Мир, 1973. – 300 с.
2. Драганов Б.Х., Гулко Т.В. Оптимизация методами теории графов систем теплоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии // Вестн. Челябин. агроинж. ун-та. – 2000. – 31. – С. 62-66.
3. Энергетические расчеты технических систем. Справ. пос. / Под ред. А.А. Долинского, В.М. Бродянского. – Киев: Наук. думка, 1991. – 360 с.
4. Кафаров В., Мешалкин В. Анализ и синтез химико-технологических систем. – М.: Химия, 1991.

УДК 631.371:620.92 (075)

Б.Х. Драганов, д-р техн. наук
(НУБиП Украины)

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ – МЕТОД РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

Изложены основные факторы ВИЭ, оказывающие положительный эффект на экологию окружающей среды. Указывается, что основными показателями являются суммарный капитал и потребляемая энергия.

В последние годы большое внимание уделяется возобновляемым и нетрадиционным источникам энергии. Основное преимущество возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – их неисчерпаемость и возможность эффективного решения проблемы экологической за-

щиты по сравнению с традиционными источниками энергии [1,2].

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) в основном используются при сооружении малых энергоэкономических комплексов (МЭК) систем тепло-, водо-, гелио- и электроснабжения. Во многом, энергетическая безопасность формируется на региональном уровне. Степень обеспеченности собственными топливно-энергетическими ресурсами является одним из факторов энергетической безопасности. В этом отношении во многих районах страны существенную роль могут сыграть ВИЭ, обеспечивающие энергетическую независимость.

Активное использование ВИЭ позволяет существенно сократить выбросы вредных веществ в атмосферу. Но эти источники энергии не являются полностью экологически чистыми. Негативное влияние ВИЭ на окружающую среду проявляется в широком спектре экологических факторов. Факторы негативного их влияния на экосистемы энергоустановок могут быть представлены следующей классификацией (рис 1) [2].

В табл. 1. Для разных видов электроустановок приведены данные по удельному производству электроэнергии в пересчете на квадратный метр занимаемой площади, а также площади, необходимой для выработки 1 кВт·ч электроэнергии в год [1]. Для сопоставления приведены также данные по производству электроэнергии на ТЭС и АЭС. Их анализ позволяет заключить, что для получения 1 кВт·ч электроэнергии на солнечной электростанции требуется земельная площадь, превышающая в 200 раз площадь, необходимую для производства такого же количества электроэнергии с помощью ТЭС.



Рисунок 1 – Классификация влияния установок на основе ВИЭ на окружающую среду

Таблица 1.

№ п/п	Вид первичной энергии (энергоресурса)	Вид установки	Производство электроэнергии кВт·ч/м ²	Допустимая площадь, м ² /кВт·ч
1	Ветровая энергия	ВЭС	12	0,083
2	Солнечная энергия	СЭС	30	0,033
3	Органические отходы	БГУ	100	0,010

При анализе экономических потерь от техногенных выбросов в качестве основных факторов рассматриваются вложения капитала (К) и объём потребляемой энергии. Предполагается, что функция однородная и года t имеет вид [3]:

$$Y_t = aK_t^b E_t^d \quad (1)$$

где Y_t – выпуск продукции (доход) в t -м году; K_t – основной капитал в t -м году; E_t – использованная энергия в t -м году; a, b, d – параметры производственной функции.

Пусть C_e – это цена единицы энергии E . Допустим, что критерием использования энергии служит максимализация дохода. То есть, максимизируя $G_t = Y_t - C_e E_t$ получим оптимально условие:

$$\frac{\partial Y_t}{\partial E_t} = C_e, \quad (2)$$

Это соотношение означает, что пределы производства относительно энергетической составляющей определяются ценой энергии.

Степень точности определения тех или иных параметров, в том числе технических устройств, концентрация охраны окружающей среды и т.д. заключается в оценке параметрической чувствительности основных характеристик исследуемой системы. Оценка влияния допусков параметров системы на ее характеристики объединяют под названием «анализ чувствительности».

Приведем основные положения этого метода анализа системы [3].

Выходная характеристика системы A зависит от параметров компонентов системы

$P_\rho (\rho=1, 2, \dots, r)$, т. е. $A = A(P_1, P_2, \dots, P_r)$. Изменения в значениях параметров ΔP_ρ вызывают изменение выходной характеристики, для которой приближенно можно записать:

$$\Delta A \approx \sum_{\rho=1}^r \frac{\partial A}{\partial P_\rho} \Delta P_\rho = \sum_{\rho=1}^r \left(P_\rho \frac{\partial A}{\partial P_\rho} \right) \frac{\Delta P_\rho}{P_\rho} \quad (3)$$

Или

$$\frac{\Delta A}{A} \approx \sum_{\rho=1}^r \left(\frac{P_{\rho}}{A} \frac{\partial A}{\partial P_{\rho}} \right) \frac{\Delta P_{\rho}}{P_{\rho}} = \sum_{\rho=1}^r P_{\rho} \left(\frac{\partial \ln A}{\partial EP_{\rho}} \right) \frac{\Delta P_{\rho}}{P_{\rho}} \quad (4)$$

Уравнения (2), (3) позволяют выразить отклонение выходной характеристики в виде средневзвешенного отклонения от параметра. В литературе в зависимости постановки задачи одну из функций

$$\frac{\partial A}{\partial P_{\rho}}; P_{\rho} \frac{\partial A}{\partial P_{\rho}}; \frac{P_{\rho}}{A} \frac{\partial A}{\partial P_{\rho}}$$

называют функцией чувствительности.

Эти функции всегда можно приближенно определить, если провести анализ для двух «смежных» наборов значений параметров и затем образовать разностные соотношения следующего вида:

$$\frac{\partial A}{\partial P_{\rho}} \approx \frac{1}{\Delta P_{\rho}} [A(P_1, \dots, P_{\rho} + \Delta P_{\rho}, \dots, P_r) - A(P_1, \dots, P_{\rho}, \dots, P_r)] \quad (5)$$

Можно достаточно точно рассчитать функции чувствительности с существенно меньшими затратами. Еще раз приводим основные соображения по анализу чувствительности любой линейной системы.

Если система описывается алгебраической системой уравнений вида $Ax = a$ то параметры системы P_{ρ} входят в коэффициенты уравнений. При этом параметрическая чувствительность вектора решения x может быть; представлена в виде:

$$\frac{\partial A}{\partial P_{\rho}} = \sum_{ij} \frac{\partial x}{\partial a_{ij}} \frac{\partial a_{ij}}{\partial P_{\rho}} \quad (6)$$

Так как зависимость коэффициентов от параметров можно предполагать известной, то остается определить производную от вектора решения x по коэффициентам.

Дифференцируя систему уравнений $Ax = a$ по коэффициентам получаем:

$$A \frac{\partial x}{\partial a_{ij}} + \sum_{ij} \frac{\partial A}{\partial a_{ij}} x = 0 \text{ или } A \frac{\partial x}{\partial a_{ij}} = - \frac{\partial x}{\partial a_{ij}} = \frac{\partial a}{\partial a_{ij}} \quad (7)$$

При $A^{-1} = (a_{ij})_{i,j=1,\dots,n} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ имеем:

$$\frac{\partial x}{\partial a_{ij}} = -A^{-1} \left(\frac{\partial a}{\partial a_{ij}} \right) x = -a_i x_j; \quad (8)$$

$$\frac{\partial x}{\partial a_{ij}} = -A^{-1} \left(\frac{\partial a}{\partial a_{ij}} \right) x = -a_i; \quad (9)$$

$$z_B = c_B^T x_B = c_B^T A_B^{-1} a. \quad (10)$$

Здесь вместо A стоит базисная матрица A_B . Проанализируем экологический аспект в контексте энергопреобразующих систем, основываясь на эксергетическом методе.

Заключение

Использование возобновляемых источников энергии дает возможность существенно уменьшить загрязнения окружающей среды от техногенных выбросов.

Приведенный метод оценки ущерба экологии позволяет с достаточной точностью определить экономические потери от загрязнений окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспектива. – К.: Наук.думка, 1999 – 320 с.
2. Шиткин Н.Д. Малые энергоэкономические комплексы с возобновляемыми источниками энергии. – М.: Готика, 2000. – 263 с.
3. Телиженко А.М. Теплоэнергетика: внешние издержки и проблемы принятия решений / Под редакцией О.Ф. Балацкого – Сумы. – Изд-во Слобожанщина, 2001 – 366 с.
4. Райнше К. Оценка надежности системы с использованием графов / К. Райнше,
5. И.А. Ушаков; Под.ред. И.А. Ушакова // - М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.

УДК 338.22.021.1

А.В.Неверов¹, проф., д-р экон. наук
Ю.А.Трич², магистр экон. наук
(¹БГТУ, Минск, ²БрГТУ, г. Брест)

ИННОВАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В СТЕКОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Проблема ресурсосбережения, являясь одной из наиболее важных проблем в большинстве стран мира, становится приоритетной и для Республики Беларусь.

Важное значение в развитии национальной экономики имеет экологический потенциал, который характеризует возможность сохранения и функционирования природных систем, рационального использования всех компонентов биосферы в интересах человека, который не может быть полностью оценен экономически, так как включает «невесомые полезности» природных условий. Охрана окружающей среды является одним из условий обеспечения экологической безопасности, устойчивого экономического и социального развития общества.

Программой развития промышленного комплекса Республики Беларусь на период до 2020 года (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 5 июля 2012 года № 622) одним

из приоритетов развития промышленного комплекса установлено ресурсосбережение (снижение материало- и энергоемкости) и рациональное использование имеющихся в республике сырьевых ресурсов, углубление переработки сырья. В период с 2016 до 2020 года одно из главных направлений развития промышленного комплекса будет связано с мировым научно-техническим прогрессом и переходом от энергоемкого индустриального производства к «зеленой» экономике. Стратегическими задачами развития определены расширенное воспроизводство инновационного потенциала промышленного комплекса; формирование «зеленой» экономики, базирующейся на энергосбережении, внедрении экологически чистых технологий, возобновляемых и альтернативных источников энергии, эффективных технологий переработки отходов, а также должно получить дальнейшее развитие стекольное производство гнутого автомобильного и энергосберегающего архитектурного стекла, стекольного кускового доломита, зеркального и ламинированного стекла.

Приоритетными направлениями промышленной политики на этот период предусматривается внедрение инновационных технологий и создание новых высокопроизводительных производств, импортозамещение, снижение технологической и товарной зависимости от зарубежных стран; разработка ассортимента инновационных продуктов массового производства с высокой добавленной стоимостью на базе использования технологий глубокой переработки сырьевых ресурсов, обеспечивающих энерго - ресурсосбережение, экологичность процессов производства и высокое качество продукции, рециклинг отходов промышленного производства; вхождение белорусских промышленных организаций в мировую хозяйственную систему. Кроме того, планируется преимущественный выпуск продукции, соответствующей требованиям международных стандартов качества, освоение выпуска товаров V и VI технологических укладов.

В Программе развития промышленного комплекса до 2020 года делается ставка на развитие инновационного сектора экономики, который обеспечит высокопроизводительные рабочие места. Предполагается, что уже к 2015 году удельный вес инновационной продукции увеличится до 20-21%, и этот уровень необходимо сохранить в последующие 5 лет. Отставание от среднеевропейского уровня производительности труда по добавленной стоимости должно быть сокращено в 2 раза. Ориентир для производительности труда – не менее 50% от уровня государств Евросоюза. Кроме того, белорусская промышленность будет производить все больше продукции, в том числе и изде-

лий из стекла, в соответствии с мировыми стандартами, что усилит экспортный потенциал страны. Валовая добавленная стоимость в промышленности к 2020 году должна вырасти в 2,2-2,3 раза.

В соответствии с Программой развития стекольной промышленности Республики Беларусь на стекольных заводах страны реализована серия инновационных проектов, что позволило расширить ассортимент и объемы производства стекольной продукции, начиная от листового полированного стекла до хрустальной посуды, медицинской тары, сырьевых материалов. Основной задачей стекольной промышленности является дальнейший рост собственного производства и увеличение объемов продаж. Кроме того, стекольная промышленность стала экспортно-ориентированной. Вопрос о мерах по развитию стекольной промышленности является чрезвычайно актуальным в связи с увеличением темпов роста производства в отрасли, которая является одной из базовых отраслей экономики и играет важную роль в формировании макроэкономических показателей Республики Беларусь. Радикально увеличен выпуск полированного стекла, что позволяет наполнить внутренний рынок, а также около 40 % этого стекла направлять на экспорт. Возрастает и объем промышленной переработки стекла. Параллельно прорабатывается вопрос о расширении рынков сбыта инновационной продукции в области стекольной отрасли.

В Беларусь пришли и активно работают в стекольной сфере иностранные инвесторы, что является самым хорошим признаком перспективности данного направления деятельности. Стекольная индустрия Беларуси переживает период качественного обновления. В отрасли идет реконструкция заводов. Модернизация предприятий отрасли начала осуществляться после принятия Программы развития стекольной промышленности Республики Беларусь на 2006-2010 годы и на период до 2015 года. Имеющиеся месторождения кварцевых песков являются залогом успешной модернизации стекольной промышленности, которая ориентирована в основном на экспорт.

Стекольные предприятия Беларуси должны активнее наращивать поставки оконного стекла на экспорт и внутри страны. Модернизация основных фондов позволит успешно конкурировать с западными монополиями высококачественной отечественной продукцией, увеличивать собственное производство, заменяя экологически вредные для здоровья населения пластиковые контейнеры, организовать повторное использование стеклянной тары и производить глубокую промышленную переработку плоского стекла.

Сегодня согласно инновационной программе развития на 2010 –

2015 гг. активно реализуются инвестиционные проекты. Одним из видов продукции, планируемой к производству, является энергосберегающее стекло, позволяющее значительно сократить потери тепла при эксплуатации производственных и жилищных помещений, что особенно актуально при повсеместном удорожании энергоресурсов и активном развитии программ по энергосбережению. Продолжается модернизация одной из ранее действовавших линий на ОАО «Гомельстекло», чтобы освоить выпуск энергосберегающего стекла. Потребность страны в энергосберегающем стекле объясняется переходом на новый уровень норматива значений по энергосбережению в строительстве. Кроме того, сейчас в Беларуси, да и в приграничных регионах соседних стран, востребовано строительное и автомобильное стекло. В 2014 году планируется ввести в эксплуатацию линию по производству зеркального полотна и ламинированного стекла, а также существенно обновить и расширить парк оборудования промышленной переработки стекла, в частности освоить производство стеклопакетов больших форматов, гнutoго архитектурного стекла, моллированного автомобильного стекла. Реализация инвестиционных проектов в стекольной промышленности Беларуси позволит увеличить объем производства полированного стекла.

Инновационное развитие стекольной промышленности предполагает реализацию комплекса мер по реформированию и развитию отраслевой научной сферы, в частности, создание отраслевого центра науки и высоких технологий в области стекольной промышленности, при этом целесообразно осуществление точечных мер по поддержке, в том числе, в виде долевого участия государства, проектов освоения производств высокотехнологичных импортозамещающих видов стекольной продукции, сырья, машин и оборудования. Конкурентоспособность продукции стекольной отрасли во многом предопределяется стоимостью продукции и услуг отраслей-монополистов: электроэнергетики, газовой промышленности, железнодорожного транспорта.

Основной путь реализации главной цели – широкое и ускоренное внедрение инноваций в результате активизации инвестиционной деятельности на всех производственных переделах. Усиление инновационной и инвестиционной деятельности ослабит негативное влияние факторов, ограничивающих развитие предприятий, обеспечит кардинальное обновление производственного потенциала, выпуск традиционных и новых видов продукции при снижении расхода всех видов ресурсов и соблюдении норм по охране окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковтуненко, А.Н. Достижение конкурентоспособности белорусской экономики невозможно без структурных реформ / А.Н. Ковтуненко // Экономический бюллетень НИЭИ Министерства Республики Беларусь. – 2013. – № 4
2. Комплексный прогноз научно-технического прогресса Республики Беларусь на 2001–2020 годы: в 5 т. / Госкомитет на науке и технологиям Респ. Беларусь. – Институт экономики НАН Беларуси. – Мн.: Право и экономика, 2000.
3. Мясникович, М.В. Роль Академии Наук Беларуси в создании национальной конкурентоспособной научно-инновационной системы / М.В. Мясникович // Бел. экономика: анализ, прогноз, регулирование, 2003. – № 6.

УДК 658.562:504.5

Т.М. Владимирова, доц., канд. техн. наук,
С.И. Третьяков, проф., канд. техн. наук
(Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Архангельск, РФ)

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ В ЦЕЛЯХ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Главными направлениями природоохранной деятельности, обеспечивающими кардинальное решение многих проблем, являются предотвращение деградации природной среды путем развития безотходных и ресурсосберегающих технологий и экологически чистых производств, а также удовлетворение потребностей в природных ресурсах на основе производства заменителей природных материалов, использования нетрадиционных и неисчерпаемых видов энергии. Специфика данной деятельности, во-первых, состоит в том, что эффект от нее, как правило, носит комплексный характер, и выражается в достижении положительных экологических, экономических и социальных результатов, четкая оценка которых не всегда возможна. Во-вторых, экологический эффект часто сопровождает проведение тех или иных экономических мероприятий, и его также трудно учесть. Природоохранная деятельность включает целый комплекс направлений, реализация которых невозможна без широкого применения методов статистического анализа факторов, оказывающих влияние на окружающую среду.

Организации всех видов собственности все больше стремятся к достижению и демонстрации высокой экологической результативно-

сти, контролируя воздействия на окружающую среду своей деятельности, продукции или услуг в соответствии с разработанной организацией экологической политикой и целями. Достижение улучшения экологической результативности возможно путем разработки и внедрения в организации системы экологического менеджмента, согласно требованиям стандарта ГОСТ Р ИСО 14001-2007 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению» [1]. Основными инструментами экологического менеджмента, определенными в стандарте ГОСТ Р ИСО 14001-2007, являются: экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую природную среду; экологический аудит; экологический контроль; экологическая сертификация; экологическая отчетность; экологический мониторинг; экологическая маркировка и реклама. Применение этих инструментов невозможно без использования статистических методов.

Статистические методы используют при измерении, описании, анализе, интерпретации и моделировании изменчивости процессов даже при наличии относительно ограниченного количества данных. Статистический анализ этих данных может способствовать лучшему пониманию характера, степени и причин изменчивости, что может помочь в решении и даже предотвращении проблем охраны окружающей среды.

Для большинства статистических методов [2] описательная статистика составляет наиболее важную часть. Выбор метода зависит от конкретных обстоятельств и поставленной цели. Метод описательной статистики используют для общего рассмотрения и описания данных. Он является начальным шагом при анализе количественных данных и использовании других статистических процедур, поэтому его следует рассматривать как необходимый компонент статистического анализа.

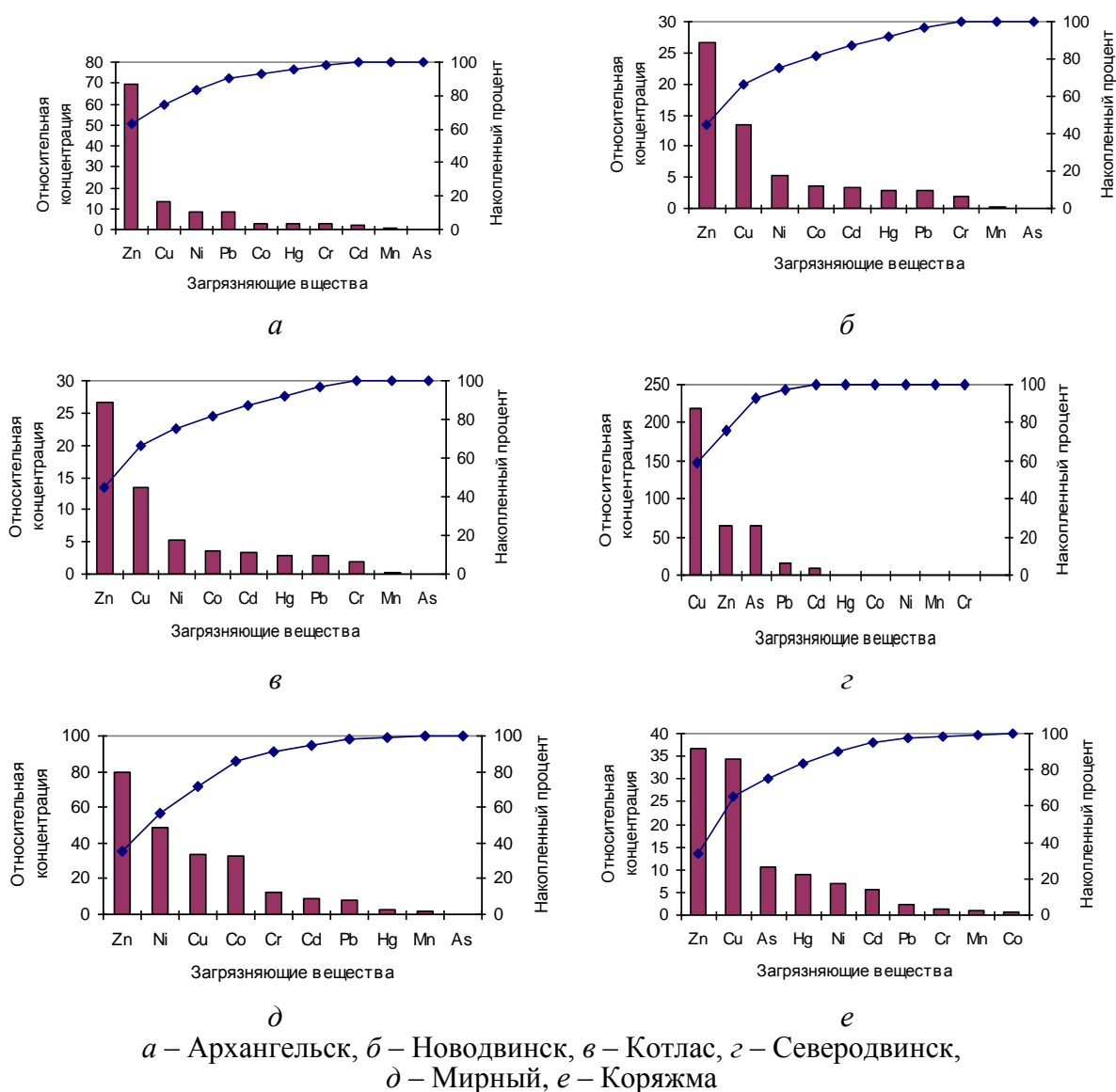
Информация, представляемая описательной статистикой, часто может просто и эффективно передаваться с помощью различных графических способов:

- диаграмм, отражающих тенденции изменения наблюдаемой характеристики во времени;
- графиков относительного разброса двух переменных, когда значение одной из них откладывается по оси x , а соответствующее значение другой – по оси y ;
- гистограмм, отражающих распределение наблюдаемых характеристик [3].

Так, например, для анализа исследования состояния почвы по санитарно-химическим показателям на содержание таких веществ как медь, цинк, никель, свинец, кадмий, хром, марганец, ртуть, кобальт, на территориях городов Архангельск, Северодвинск, Новодвинск, Котлас, Коряжма, Мирный [4] использовали построение диаграмм

Парето (рис. 1).

Полученные диаграммы, не только позволяют определить превышение ПДК загрязняющих веществ (в г. Северодвинске по содержанию меди), но и помогают определить вещества представляющие наибольшую опасность для почвы конкретного города, то есть могут применяться для оценки опасности почвы. Для анализа результатов наблюдений за содержанием техногенных радионуклидов в приземной атмосфере использовали статистический метод построения графиков. Среднемесячные значения суммарной бета-активности радиоактивных аэрозолей приземного слоя атмосферы в городах Архангельск, Северодвинск и Нарьян-Мар были на одном уровне и изменялись в пределах $(2,4-8,7) \times 10^{-5}$ Бк/м³ (рис. 2) [3].



a – Архангельск, *б* – Новодвинск, *в* – Котлас, *г* – Северодвинск, *д* – Мирный, *е* – Коряжма

Рисунок 1 – Диаграммы Парето для относительных концентраций загрязняющих веществ в разрезе территорий Архангельской области за 2013 год
Графические способы, которые могут быть использованы для

анализа и представления данных, достаточно разнообразны: это и простые методы построения гистограмм, круговых диаграмм, и методы представления более сложного характера, использующие многомерную графику с несколькими переменными (так называемые вероятностные графики).

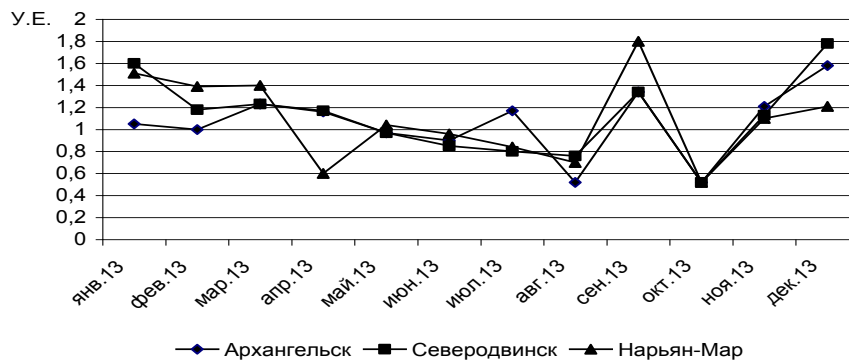


Рисунок 2 – Среднемесячные концентрации радиоактивных аэрозолей в 2013 году

Таким образом, использование графических методов помогает выявить необычное поведение данных, которое непросто обнаружить при количественном анализе экологических параметров. Статистические методы позволяют лучше использовать данные мониторинга для принятия решения по улучшению процесса контроля объектов окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р ИСО 14001-2007. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.- М.: Стандартинформ, 2007.-22 с.
- ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005. Статистические методы. Руководство по применению в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001.-М.: Стандартинформ, 2005.-20 с.
- Применение статистических методов контроля и управления качеством технологических процессов, продукции и услуг: учеб. пособие/ В.И. Комаров, Т.М. Владимирова, В.И. Жабин, В.В. Заляжных, А.Е. Коптелов, С.И. Третьяков.-Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2009.-179 с.
- Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2013 год: [сборник]/ Мин-во прир. ресурсов и лесопром. комплекса Арх. обл., Центр природопол. и охр. окр. среды; [отв. ред.: Чулков А.В.]-Архангельск: Мин-во прир. ресурсов и лесопром. комплекса Арх. обл., 2014.-385 с.

УДК 614.841.13:678

С.Л. Лейнова, канд. хим. наук; Г.А. Соколик, канд. хим. наук,
С.Ф. Свирщевский, В.В. Понарядов, канд. физ-мат. наук,
С.Я. Рубинчик, Д.И. Клевченя
(БГУ, г. Минск)

КОНТРОЛЬ ТОКСИЧНОСТИ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ И ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Материалы, применяемые для защиты от шума в конструкциях зданий, подразделяются на звукопоглощающие и звукоизоляционные. Использование подобных материалов в качестве отделочных и облицовочных возможно только в том случае, если они обеспечивают соответствующие требования пожарной безопасности. В первую очередь, это относится к материалам, применяемым для облицовки вестибюлей театров, в концертных и зрительных залах, в специальных компьютерных и офисных помещениях, где решение вопросов их пожарной безопасности особенно важно и актуально.

В соответствии со структурой материала и, как следствие, потребительскими свойствами и областью применения, звукопоглощающие и звукоизоляционные изделия подразделяются на листы гипсокартонные и гипсоволокнистые, плиты минераловатные и минераловолокнистые.

При изготовлении звукопоглощающих и звукоизоляционных изделий с целью придания им специальных свойств (влагостойкость, огнестойкость и др.) используются различные добавки: армирующие, которые придают дополнительную прочность, гидрофобные, обеспечивающие минимальное водопоглощение, противогрибковые, препятствующие развитию плесени и грибков. Кроме того, широкое применение находят и комбинированные изделия: например, листы гипсокартона или плиты минераловатные с покрытием из оцинкованной стали, окрашенного алюминия, поливинилхлорида и т.д.

Звукопоглощающие и звукоизоляционные строительные материалы, изготовленные из минеральных веществ, являются негорючими, однако при добавлении к ним органических компонентов (достаточно 1 % от массы материала), такие материалы становятся горючими и их пожарная опасность увеличивается.

Согласно ТКП 45-2.02-142-2011 «Здания, строительные конструкции, материалы и изделия. Правила пожарно-технической классификации», для материалов звукопоглощающих и звукоизолирующих органических или с включениями органических веществ, обязательным является контроль токсичности продуктов их горения. Данный

контроль по токсичности продуктов горения указанных материалов также регламентирован и следующими документами, действующими на территории Республики Беларусь: ГОСТ 23499-2009 «Материалы и изделия звукоизоляционные и звукопоглощающие строительные. Общие технические условия» и ГОСТ 6266-97 «Листы гипсокартонные. Технические условия».

В оценке токсичности продуктов горения в настоящее время прослеживаются два методологических подхода: с использованием подопытных животных и с использованием газоанализаторов и химико-аналитических методов для определения состава газовой смеси, образующейся при термическом разложении материалов.

При определении показателя токсичности продуктов горения ($HC1_{50}$) с использованием подопытных животных (биологический метод) суммарный токсический эффект продуктов горения оценивается по результату их непосредственного воздействия на животных. Биологический метод, описанный в [1], применяется на сегодняшний день на территории Республики Беларусь, в России, Украине, Казахстане и в некоторых других странах СНГ. Необходимость массового расходования подопытных животных (мышей) в данном методе противоречит современным требованиям, изложенным в [2], а длительные сроки проведения эксперимента (около 3-х недель) не всегда позволяют оперативно получить информацию о токсичности продуктов горения материалов, что сдерживает их поступление как на внутренний, так и на внешний рынки.

При определении $HC1_{50}$ по составу газовой смеси (расчетно-экспериментальный метод) интерпретация полученных результатов проводится по расчетным моделям, которые учитывают фракционную эффективную дозу (FED), отражающую взаимосвязь между смертностью животных и содержанием в газовой фазе основных токсичных и биологически активных компонентов. Основные принципы расчетно-экспериментального метода изложены в международном стандарте [2].

В БГУ были разработаны методы определения токсичности продуктов горения по составу газовой смеси, предназначенные для определения токсичности продуктов горения материалов, изготовленных на основе целлюлозы, поликарбоната, полиэтилена, полистирола, полипропилена, поливинилацетата, полиуретана, полиамида, полиамидных и эпоксидных смол, а также поливинилхлорида. Неоспоримым преимуществом этих методов, помимо отказа от массового использования подопытных животных, являются сроки проведения испытаний (5-6 дней) [3].

При создании расчетно-экспериментального метода для оценки $HC1_{50}$ звукопоглощающих и звукоизоляционных материалов, с целью его дальнейшего применения на территории Республики Беларусь, авторами были определены состав и токсичность газовой среды, образующейся при их термическом разложении.

Токсичность продуктов горения звукопоглощающих и звукоизоляционных материалов определялась биологическим методом в соответствии с [1], состав газовой фазы оценивался по МВИ 3763-2011[4]. Исследования проводились на установке, соответствующей требованиям [1], и позволяющей, наряду с определением показателя токсичности продуктов горения биологическим методом, анализировать состав образующейся при горении газовой смеси. Всего было проанализировано 107 материалов.

В результате проведенных исследований выявлено, что при термическом разложении исследованных изделий образуются, в основном, оксиды углерода (CO , CO_2). Среди продуктов горения было отмечено также присутствие в газовой фазе акролеина, формальдегида и, в некоторых случаях, оксидов азота (N_xO_y), однако, их концентрации были на порядок ниже по сравнению с концентрациями этих же токсичных компонентов в газовой фазе, образующейся при термическом разложении ранее изученных материалов с другой основой [5]. Наличие оксида серы (SO_2), бромистого водорода, фтористого водорода, цианистого водорода среди продуктов горения исследованных материалов выявлено не было.

Установлено, что у исследованных материалов образование угольного остатка в большой степени зависит от количества органических компонентов в составе изделия, а также от условий сгорания, в частности, температуры.

Ранее было показано, что чем выше токсичность продуктов горения материалов, установленная биологическим методом, тем более высокие концентрации основных токсичных газов, наряду с оксидом углерода, регистрируются в продуктах горения [5]. Полученные данные о составе газовой смеси свидетельствуют о том, что следует ожидать малой токсичности продуктов горения исследованных материалов: по полученным значениям $HC1_{50}$, в соответствии с классификацией, представленной в [1], все исследованные звукопоглощающие и звукоизоляционные материалы относятся к малоопасным. Материалы, относящиеся к умеренноопасным, высокоопасным и чрезвычайно опасным, обнаружены не были.

Полученные в ходе проведения работы результаты внесены в базу данных, зарегистрированную в Государственном регистре ин-

формационного ресурса Республики Беларусь: № 1311404249 от 04.09.2014 г. Представленные в ней результаты будут использованы для создания расчетно-экспериментального метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84). – Введ. 01.01.91. – Переиздание ноябрь 2011г. с Изменением № 1, утвержденным в июле 2000 г. – 104 с.

2. Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents: ISO 13344:2004. – Введ. 15.10.04. – Switzerland: International Organization for Standardization, 2004. – 24 с.

3. Лейнова, С.Л. Контроль токсичности продуктов горения материалов, изготовленных на основе поливинилхлорида. / С.Л. Лейнова [и др.] // Материалы научно-технической конференции «Наука и технология строительных материалов: состояние и перспектива развития», 27-29 ноября 2013 г. – Минск, 2013. – С. 209-212.

4. Методика определения содержания CO, CO₂, O₂, NO, NO₂, SO₂, HCN, формальдегида, акролеина, HCl, HBr, HF в газовой смеси, образующейся при горении веществ и материалов: МВИ 3763-2011. – Введ. 30.03.11. – Минск: Белорусский государственный институт метрологии, 2011. – 161 с.

5. Соколик, Г.А. Состав и токсичность газовой фазы, образующейся при термическом разложении материалов, изготовленных на различной основе. / Г.А Соколик [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация – 2009. – №2 (26). – С. 447-454.

УДК 65.011

Е. В. Россоха, канд. экон. наук
(БГТУ, г. Минск)

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Республика Беларусь находится в стадии становления и развития экономики и ставит цели наращивания производительности труда посредством модернизации производства. Анализ существующей практики показывает, что многие белорусские топ-менеджеры не владеют методиками и системами менеджмента оценки и управления экономической результативностью технологических процессов [1].

Результаты эмпирических исследований позволяют сделать вывод, что успешность модернизации и развития промышленного пред-

приятия напрямую определяется эффективностью управления оборудованием и производственным процессом. Нами предлагается использовать концепцию ОЕЕ (англ. Overall Equipment Effectiveness), предполагающую интегральную оценку эффективности готовности оборудования (А), производительности (Р) и уровня качества производимой продукции (Q).

Показатель ОЕЕ можно рассчитать по следующей формуле:

$$ОЕЕ = А \cdot Р \cdot Q.$$

где А – готовность (англ. Availability); Р – производительность (англ. Performance); Q – качество (англ. Quality).

Применяемые в формуле компоненты интерпретируются следующим образом. Производительность – сравнение текущей выработки с номинальной за определенный период времени (также этот показатель можно рассчитывать по времени, учитывающему потери, связанные со скоростью обработки). Готовность – сравнение времени, в течение которого изготавливается продукт, и номинального (планового) времени выпуска продукции. Качество – сравнение общего количества изделий, изготовленных за период времени, и количества изделий, отвечающих требованиям потребителей (бездефектной продукции).

В международной практике принято считать плохим показатель ОЕЕ менее 65%, удовлетворительным – от 65% до 75%, хорошим – более 75% (мировые промышленные лидеры имеют значения 80–85%) [2].

Ключевым резервом роста ОЕЕ является ликвидация потерь, связанных с поломками, настройкой, переналадкой, кратковременными остановками оборудования, снижением скорости обработки, браком и др.

Для использования приведенной методики на практике целесообразно реализовать три этапа:

1-й этап. Расчет показателя ОЕЕ по подразделениям.

2-й этап. Определение причин, обуславливающих потери и определение способов их устранения.

3-й этап. Автоматизация мониторинга показателей ОЕЕ.

Первый этап, связанный с расчетом ОЕЕ и его составляющих, выполняется посредством замера параметров, указанных в формуле. Необходимо в каждую рабочую смену регистрировать переходы оборудования из рабочего в нерабочее состояние и наоборот. При этом должно фиксироваться время нахождения в том или ином состоянии. Чтобы потом анализировать причины потерь, регистрация этих пере-

ходов должна сопровождаться указанием их причин. Каждой смене необходимо регистрировать количество произведенной продукции, количество брака (или качественной продукции), причины брака. Чтобы сравнивать рабочие смены, технологические линии или участки по их вкладу в итоговый ОЕЕ, расчет показателя нужно проводить с соответствующей выборкой данных – по сменам, линиям и т. д.

Второй этап предполагает реализацию методик, использование которых позволит ликвидировать неэффективно используемое время, например такие, как: «Root Cause Analysis» предполагает определение причины поломки, «Failure Mode and Effects Analysis» предполагает анализ видов и последствий отказов, «Single-Minute Exchange of Dies» создает условия для переналадки оборудования менее чем за 10 мин и др.

Третий этап заключается в создании информационной системы мониторинга показателей ОЕЕ, что включает обследование процессов мониторинга качества, производительности и готовности оборудования, разработку спецификаций с описанием показателей, алгоритмов ввода данных и подсчета показателей, визуализацию представления данных для оценки и анализа.

Таким образом, развитие промышленного предприятия требует корректной оценки эффективности управления производственным оборудованием и технологическими процессами. Решение указанного вопроса позволит успешно провести модернизацию, сэкономя на инвестициях, повысить ключевые показатели эффективности (денежный поток и рентабельность капитала) предприятий.

Оценку эффективности управления оборудованием целесообразно вести в соответствии с методикой ОЕЕ, которая определяется показателями готовности, производительности и качества. Ключевым параметром рассматриваемой методики являются потери (англ. Waste), ликвидация которых является главной задачей менеджеров. Реализация методики ОЕЕ на промышленном предприятии позволит менеджерам принимать обоснованные решения по управлению оборудованием и производственными процессами, способствуя тем самым росту производительности труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николич Дж. Инвестиции требуют эффективного менеджмента // Директор. № 6 [Электронный ресурс]. 2012. Режим доступа: <http://www.director.by/index.php/arhiv-nomerov/-2012/103-5156-/3443-2012-06-29-13-46-29.html>. Дата доступа: 03.03.2014.

2. Overall Equipment Effectiveness – Общая эффективность оборудования / пер. с англ. М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2007. 120 с.

А.В. Неверов, проф., д-р экон. наук
А.В. Равино, доц., канд. экон. наук,
(БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ГЛОБАЛИЗАЦИИ НА РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В XI веке перед различными государствами встают единые проблемы, нарастает социо-эколого-экономическая зависимость государств, формируется единое общемировое пространство. Глобализация, как постепенно нарастающий в историческом масштабе процесс взаимодействия и взаимопроникновения различных цивилизаций, оказывает существенное влияние на образовательный процесс, повышение его потенциала в соответствии с глобальными потребностями мирового развития[1].

Влияние процесса глобализации на образовательный процесс в высшей школе Беларуси проявляется в объективной необходимости развития международного академического сотрудничества с целью повышения эффективности системы качества образования страны.

Кафедра менеджмента и экономики природопользования УО «БГТУ» участвует в реализации программы Tempus «Экологическое управление – учебные программы по экологии» / «Environmental Governance for Environmental Curricula» (EnGo). Целью программы является повышение конкурентоспособности профессионального и научного экологического образования в университетах стран-партнеров с использованием принципов и методов Болонского процесса [2].

В консорциум проекта Tempus входят 17 партнеров из 9 стран мира (Словакия, Венгрия, Нидерланды, Польша, Австрия, Беларусь, Украина, Россия, Испания). Головным партнером программы является Университет им. Комениуса (Братислава, Словакия).

В рамках проекта предусматривается:

- пересмотр и обновление курсов подготовки специалистов в области экологии в университетах-партнерах;
- разработка и внедрение специальности магистратуры;
- разработка и внедрение специальности аспирантуры;
- повышение эффективности систем проведения оценки и самооценки качества образования;
- международное академическое сотрудничество.

За период 2011–2013 гг. в рамках проекта EnGo по программе Tempus представители кафедры менеджмента и экономики природопользования БГТУ принимали активное участие в выполнении работ, предусмотренных программой:

– на основе анализа учебных планов подготовки магистров по специальности «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» с оценкой текущего статуса, сильных и слабых сторон принятых программ сформулированы предложения по пересмотру и улучшению учебных программ подготовки магистров с усилением их экологической направленности;

– проведена работа по внедрению нового направления подготовки магистров – «Экологический менеджмент» для специальности «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», которое призвано содействовать повышению эффективности систем качества образования в области экологии, развитию международного академического сотрудничества;

– при обсуждении плана и формата внедрения магистерской программы по специальности «Экологический менеджмент» осуществлено продуктивное взаимодействие с партнерами проекта;

– разработана программа учебного курса «Лесное управление» / «Forest governance», который является обязательной учебной дисциплиной при подготовке магистров по специальности «Экологический менеджмент»;

– подготовлен учебник «Лесное управление» с целью улучшения качества подготовки магистров по специальности «Экологический менеджмент».

Проведенная работа направлена на обеспечение защиты прав человека на доступ к информации, касающейся окружающей среды, что является актуальным в связи с ратификацией нашей страной в 2000 г. Орхусской конвенции Европейской экономической комиссии ООН «О доступе к информации, участию общественности в принятии решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды»[3].

Требования глобализации современной системы образования связаны с неуклонным возрастанием экологического знания в деле подготовки высококвалифицированных специалистов. Круг экологического знания не только расширяется, но и меняется его содержание, наблюдается синтез с социальными и экономическими науками. Под влиянием идей устойчивого развития и необходимости их реализации в практической жизни появляются концепции и модели социо-эколого-экономического характера и адекватный им инструментарий реализации. В этом отношении выделяется подход, основанный на построении системы «environmentalgovernance», акцент в котором осуществлен на институциональный базис всей конструкции механизма управления природопользованием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Международные экономические отношения / Под ред. А.И. Евдокимова. – Москва: Проспект, 2013. – 656 с.
2. TempusProgramme [Electronic resource] / Education, Audiovisual and Culture Executive Agency. Mode of access: <http://eacea.ec.europa.eu/TEMPUS/> (Dateofaccess: 07.04.2014)
3. Конвенция о доступе к информации, участии общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды [Орхусская конвенция]. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/orhus.shtml (дата обращения: 03.11.2014).

УДК 634.739.3:736(476)

А. П. Подтероб¹, доц., канд. хим. наук
Т. Н. Зинькова, доц., канд. хим. наук
(¹БГУ, г. Минск, ²БГТУ, г. Минск)

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИГМЕНТНОГО ФОНДА ЛИШАЙНИКА *XANTHORIA PARIETINA* (L.) TH. FR.

Современные методы оценки уровня загрязнённости атмосферного воздуха основаны на двух принципах: определение содержания в воздухе отдельных веществ с помощью приборов-газоанализаторов (инструментальные методы) и оценка суммарной токсичности примесей с помощью растений-индикаторов (биологические методы).

Инструментальные методы определения концентрации токсичных газов в атмосфере обладают высокой селективностью и чувствительностью. Однако используемые приборы недешевы, что сдерживает их широкое применение в экологическом мониторинге. Кроме того, получаемая при этом информация в виде значений концентраций газов-поллютантов не отражает сущности и степени их воздействия на живой организм, проявляющейся, например, в синергизме их действия. Наконец, в воздухе городов и промышленных районов одновременно содержатся тысячи различных примесей, и учитывать каждый ингредиент в отдельности зачастую нецелесообразно. Практическое значение имел бы некий обобщённый показатель, оценивающий, с одной стороны, общее содержание вредных примесей в приземном слое воздуха, а с другой – токсичность их для организмов. С этой точки зрения представляется перспективным использование растений-биоиндикаторов, представителями которых являются лишайники.

Характерными признаками неблагополучия состояния окружающей среды и газового состава атмосферы является появление у лишайников хлорозов и некрозов, уменьшение размеров слоевищ. Лишайники удобны тем, что могут служить биоиндикаторами круглогодично. *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. выгодно отличается также тем, что является токситолерантным лишайником, способным произрастать на сильно загрязненных территориях. Кроме того, *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. характеризуется широким ареалом распространения, что дает возможность проводить биоиндикацию на обширных территориях. Однако, существующие методы индикации состояния атмосферной среды городов с использованием лишайника *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. [1 и др.] отличаются трудоёмкостью и недостаточной достоверностью.

Целью настоящего исследования является уменьшение трудоёмкости и повышение достоверности результатов биомониторинга путём использования количественных характеристик пигментного фонда лишайника *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. в качестве критериев для оценки степени атмосферного загрязнения.

Для проведения анализа одновременно отбирались образцы слоевищ лишайника, произрастающего на исследуемой пробной площади и контрольной пробной площади. Определяли содержание в образцах хлорофиллов *a* и *b* (Хл.*a*, Хл.*b*), каротиноидов (Кар.), антрахинонов (Антр.) и их массовые соотношения:

$$\frac{\text{Хл.}a}{\text{Хл.}b}, \frac{\text{Хл.}a + \text{Хл.}b}{\text{Кар.}}, \frac{\text{Хл.}a + \text{Хл.}b}{\text{Антр.}}, \frac{\text{Хл.}a + \text{Хл.}b}{\text{Кар.} + \text{Антр.}}$$

Для оценки степени атмосферного загрязнения городской среды проводили сравнение соотношений, полученных для исследуемой пробной площади и контрольной пробной площади.

После разложения образцов полученные ацетоновые вытяжки фотометрировали при характерных длинах волн. Для определения хлорофиллов *a* и *b* измерения проводили при длинах волн 662 нм и 644 нм, и их содержание рассчитывали по формулам Веттштейна [2]:

$$C_a(\text{мг/л}) = 9,784 \cdot D_{662} - 0,990 \cdot D_{644},$$

$$C_b(\text{мг/л}) = 21,426 \cdot D_{644} - 4,650 \cdot D_{662}.$$

Для определения каротиноидов после предварительного осаждения антрахинонов фильтрат фотометрировали при длине волны 440,5 нм. Расчёты проводили по формуле Веттштейна [2]:

$$C_{\text{кар.}}(\text{мг/л}) = 4,695 \cdot D_{440,5} - 0,268 \cdot C_{a+b}.$$

Для определения суммы антрахинонов (в пересчёте на парие-тин) ацетоновую вытяжку разбавляли в 5 раз щелочным реагентом и немедленно фотометрировали при длине волны 514 нм. Содержание

антрахинонов определяли за вычетом холостого опыта по градуировочному графику, предварительно построенному по чистому парietiну в интервале концентраций 2–20 мг/л.

После определения концентраций пигментов в ацетоновой вытяжке рассчитывали их содержание в сухом слоевище лишайника (мг/г) и массовые соотношения пигментов. Степень атмосферного загрязнения городской среды оценивали, сравнивая соотношения, полученные для образцов г. Минска, и контрольных образцов из Березинского биосферного заповедника.

Выявлены закономерности изменения содержания и соотношения пулов хлорофилла, каротиноидов, антрахинонов в различных зонах загрязнения воздуха. В таблице в качестве примера приведены результаты анализа четырёх проб.

Таблица – Содержание и соотношение количеств пигментов в слоевище лишайника *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.

Показатели	Содержание пигментов в мг/г сухого вещества, N = 6, P = 0,95)			
	Березинский биосферный заповедник		г. Минск	
	проба № 1	проба № 2	проба № 3	проба № 4
Хлорофилл <i>a</i> (Хл. <i>a</i>)	0,54 ± 0,02	0,74 ± 0,07	1,58 ± 0,10	2,08 ± 0,19
Хлорофилл <i>b</i> (Хл. <i>b</i>)	0,12 ± 0,01	0,21 ± 0,02	0,58 ± 0,12	0,56 ± 0,08
Каротиноиды (Кар.)	0,49 ± 0,03	1,40 ± 0,12	0,56 ± 0,08	0,87 ± 0,09
Антрахиноны (Антр.)	9,04 ± 0,37	7,71 ± 0,41	4,34 ± 0,28	2,09 ± 0,33
Хл. <i>a</i> + Хл. <i>b</i>	0,66 ± 0,03	1,00 ± 0,09	2,16 ± 0,21	2,64 ± 0,20
Хл. <i>a</i> + Хл. <i>b</i> + Кар.	1,15 ± 0,04	2,35 ± 0,14	2,72 ± 0,16	3,51 ± 0,28
Хл. <i>a</i> + Хл. <i>b</i> + Кар. + Антр.	10,2 ± 0,39	10,1 ± 0,54	7,06 ± 0,40	5,60 ± 0,48
	Массовые соотношения пигментов			
$\frac{\text{Хл.}a}{\text{Хл.}b}$	4,53 ± 0,36	3,52 ± 0,15	2,80 ± 0,45	3,77 ± 0,59
$\frac{\text{Хл.}a + \text{Хл.}b}{\text{Кар.}}$	1,36 ± 0,13	0,69 ± 0,08	3,92 ± 0,89	3,04 ± 0,17
$\frac{\text{Хл.}a + \text{Хл.}b}{\text{Антр.}}$	0,073 ± 0,003	0,12 ± 0,01	0,50 ± 0,05	1,27 ± 0,19
$\frac{\text{Хл.}a + \text{Хл.}b}{\text{Кар.} + \text{Антр.}}$	0,069 ± 0,003	0,10 ± 0,01	0,44 ± 0,05	0,90 ± 0,08

Как видно из таблицы, на содержание и соотношение пигментов существенное влияние оказывает концентрация атмосферных загрязнителей. Наблюдается повышенное содержание хлорофиллов и пониженное содержание антрахинонов в условиях городской среды, а так-

же уменьшение доли каротиноидов в общем фонде пигментов.

Наиболее информативным оказался показатель [Хл.*a* + Хл.*b*]/Антр., который многократно возрастает от чистых к загрязнённым зонам, что и может быть использовано в оценке степени атмосферного загрязнения крупных городов промышленными и транспортными выбросами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суетина, Ю. Г. Популяционное исследование *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. в городах при разной степени загрязнения среды / Ю. Г. Суетина, Н. В. Глотов, Д. И. Милютина, И. А. Кшнясев // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Биология. – 2005. – Вып. 1 (9). – С. 197–205.

2. Шлык, А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зелёных листьев / А. А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений. Сб. ст. – М.: Наука, 1971. – С. 154–170.

УДК 69:001.895:621

П.Д. Свирский, магистрант
(БГТУ, г. Минск)

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ЭКОДЕВЕЛОПМЕНТ

Ресурсосберегающие технологии – это технологии, с применением которых достигается максимальный объем производства при минимальных энергозатратах. Такие технологии включают в себя утилизацию отходов, использование вторичных ресурсов, а также замкнутые системы водообеспечения. И это особенно актуально ввиду того, что вопрос экологии, ресурсо- и энергосбережения встает с каждым годом все более остро как во всем мире, так и в Республике Беларусь. В силу ухудшающейся экологической ситуации, необходимы принципиальные изменения и инновационные решения во всех отраслях производства, промышленности и экономики. Не является исключением и строительная отрасль, в частности, девелопмент недвижимости.

Само понятие «девелопмент» принадлежит к числу новых, но уже становящихся привычными слуху терминов, вошедших в хозяйственный, а отчасти и бытовой лексикон. В частности, одним из обязательных условий девелопмента является качественное развитие объекта недвижимости, возможно, даже создание его «с нуля», с целью повышения его рыночной стоимости. Также следствием девелоперской деятельности всегда являются изменения в структуре объекта,

что дает основания считать ее одним из самых инновационных направлений.

И все же, если понятие «девелопмент» уже не является малоизвестным и малоизученным, то понятие «экодевелопмент» известно куда более узкому кругу специалистов, а энергоэффективные строительные проекты – не самое распространенное явление на рынке недвижимости Беларуси. При этом, во многих странах мира девелоперы и застройщики уже активно используют данный прием для воплощения своих самых амбициозных замыслов, и получают за счет этого немалые дивиденды. В течение последних десятилетий в Европе и Северной Америке происходит активная экологизация. Создаются научно-исследовательские центры, разрабатываются специальные программы, направленные на изучение инновационных технологий и альтернативных источников энергии. Наиболее популярны ветряные и солнечные электростанции, к примеру, в Германии производится около 17% энергии из солнца, ветра и биомассы. В Великобритании десятки миллионов фунтов ежегодно инвестируются на масштабные программы исследовательских центров при ведущих университетах, а Китай в последние годы является лидером по объему инвестиций в «зеленые» технологии.

Проект Масдар-Сити в Объединенных Арабских Эмиратах представляет собой полностью экологичный город. Все потребности города удовлетворяются за счет новейших технологий и альтернативных источников энергии. Центром проекта является Масдар Институт, привлекающий ученых и специалистов со всего мира. Проекты такого рода превращают страны – основные потребители ресурсов в лидеров инновационной деятельности. Эти примеры доказывают, насколько выгодным может быть энергоэффективное строительство и экодевелопмент для инвесторов, застройщиков и государства в целом.

Экодевелопмент отличается от обычного девелопмента тем, что строительство и модернизация объектов недвижимости осуществляется с использованием экологических подходов, технологий, с закладыванием дружественных окружающей среде решений для всех этапов жизненного цикла объекта. Инновационный путь развития предполагает увеличение объемов инвестиций, и важно наиболее точно определить факторы, влияющие на скорость окупаемости и размеры прогнозируемой прибыли.

Запуск «зеленого» проекта повышает репутацию компании-девелопера, ведь объект, построенный в соответствии с принципами энергоэффективного строительства, обладает рядом особенностей, которые могут стать основой для оригинальной маркетинговой страте-

гии при продаже либо сдаче в аренду объекта недвижимости. Высокая привлекательность площадей объектов ЗС порождает активный спрос арендаторов, что уменьшает время простоя объекта между вводом в эксплуатацию и сдачей его в аренду и уменьшает количество отказов от аренды. Инвестиции в проект на этапе создания и модернизации позволяют существенно снизить энергозатраты при дальнейшей эксплуатации. К тому же, учитывая популярность экологического строительства в большинстве развитых стран мира, подобные проекты привлекают в страну иностранные инвестиции.

Каким же образом можно оптимизировать ситуацию с энергоэффективным строительством и девелопментом в Беларуси на данный момент? Помимо реализации масштабных проектов по возведению абсолютно новых архитектурных объектов с применением энергоэффективных технологий, существует также возможность внедрения инноваций в уже функционирующие здания. В перспективе использование передовых технологий окупается за счет минимизации расходов энергии. К примеру, в коммерческой недвижимости очень эффективно показывают себя автоматизированные системы управления инженерными системами здания. Они включают в себя автоматическое отключение электроэнергии, регулировку температуры в пустующих помещениях, выбор оптимальных режимов работы для различных энергопотребляющих приборов и установок и многое другое.

В заключение, отдельно следует отметить тенденцию к снижению стоимости энергоэффективных технологий, к их постоянной модернизации и повышению эффективности, и к удорожанию самих энергетических ресурсов. В связи с этим срок окупаемости внедрения инноваций с каждым годом уменьшается, а сама концепция становится все более привлекательной для инвесторов и девелоперов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максимов С.Н. Девелопмент недвижимости. Основные аспекты явления//Современные проблемы экономики управления. -2012. - №1
2. Ленковец О.М. Экодевелопмент и экоинновации на рынке недвижимости//Экономика и экология №15
3. Печерица Е.В. Теоретические аспекты ресурсосберегающих технологий в гостиничном бизнесе
4. RicsResearch 03/2009

Е.Т. Тимонова, доц., канд. техн. наук,
И.А. Тимонов, доц., канд. техн. наук
(ВГТУ, г. Витебск)

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ ВЫПУСКНИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Проблема взаимоотношения общества и природы – глобальная общечеловеческая проблема. Разрушение системы экологических отношений и отсутствие ответственности перед будущими поколениями являются одной из составляющих кризисной экологической ситуации. Для решения указанной проблемы необходимо внедрение новой системы взглядов на мир и место человека в нем. Без активных шагов в данном направлении будущие поколения, как биологический вид, обречены на физическое и духовное уничтожение.

Преодоление экологических и социальных проблем как глобального, так и регионального характера возможно только при условии создания нового типа экологической культуры, экологизации образования в соответствии с актуальными нуждами личности и гражданского общества. Экологическое образование призвано способствовать созданию условий, обеспечивающих благоприятную среду для жизнедеятельности нынешнего и будущего поколений людей. В связи с этим одним из ведущих принципов Государственной политики Республики Беларусь является экологическая направленность образования (Кодекс Республики Беларусь об образовании, Глава 1, Статья 2.) Экологическое образование имеет жизненно важное значение, так как формирует знания об окружающей среде, причинах и последствиях экологических катастроф, экологической безопасности и т. д.

Формирование комплексной и гармоничной системы природопользования, которая обеспечивала бы как условия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь, так и сохранения и оздоровления окружающей среды, – важная задача, стоящая перед специалистами различных областей экономики. Особое значение имеет экологическое образование в техническом вузе, так как выпускники этих учебных заведений стоят «у истоков» большинства антропогенных факторов, оказывающих воздействие на природную среду. Именно эти специалисты должны быть способны найти и технически компетентно реализовать пути оптимизации природопользования на основе принципов устойчивого развития.

Однако в условиях современного состояния деградации природы становится очевидным, что достижения науки и техники, многочисленные совершенствования экологического законодательства и все

мероприятия по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов не в состоянии решить экологической проблемы без сознательной экологизированной деятельности специалистов, ответственных за индустриальное развитие общества. Очевидно, что доминирующей причиной экологического кризиса и нарушения баланса техносферы с окружающей природной средой является низкий уровень культуры современного технократического общества, которое зашло в тупик, признав приоритетным развитие технического оснащения человечества, а не его гармоничное сосуществование с природой. Преодолению этой ситуации может способствовать изменение в образовательной политике в сторону экологизации и гуманизации образования. Это направление предполагает смену системы ценностей, коррекцию мировоззрения, перестройку сознания через развитие культуры личности экоцентрической направленности. Поэтому актуальной проблемой образования становится организация такого педагогического процесса, который бы не только служил основой расширения системы знаний об окружающем мире, но и способствовал развитию ценностного, интеллектуального, культурного, творческого потенциала обучаемых. Необходимо создать в технических вузах такую экологию-образовательную среду, которая была бы направлена на формирование у студентов экологического сознания экоцентрического типа.

Экологизация сознания заключается в усвоении экоцентрических принципов:

- сохранение биосферы – основа существования и развития человеческого общества;
- сокращение биологического разнообразия в результате непродуманной деятельности человека – одна из важнейших причин экологического кризиса, угрожающего перерасти в экологическую катастрофу;
- ориентация на немедленное получение благ без учета отдаленных экологических последствий смертельно опасна;
- взаимодействие человека с природой должно быть направлено на удовлетворение потребностей, как человека, так и природы.

В тоже время необходимым условием для решения конкретных практических задач в области охраны окружающей среды и рационального природопользования является экологическая подготовка специалистов на базе интеграции знаний об окружающей среде и предмете профессиональной подготовки специалистов. Будущий специалист должен знать взаимосвязи объектов хозяйственной деятельности человека и окружающей природной среды; основные источники

загрязнения компонентов окружающей среды; экологические, экономические и социальные последствия антропогенного воздействия; технологические, технические, экономические, законодательные и информационные возможности решения экологических проблем.

Экологическое образование должно способствовать развитию навыков:

- идентифицировать и оценивать экологические аспекты деятельности предприятия;
- своевременно выявлять и корректировать технологические процессы, оказывающие значительное воздействие на окружающую среду;
- давать инженерно-экологическую оценку и прогноз возможных негативных последствий влияния действующих, реконструируемых и проектируемых предприятий на природную среду;
- вести разработку и внедрение мероприятий по рациональному использованию природных ресурсов и защите окружающей среды от загрязнения;
- организовывать природоохранную деятельность на уровне промышленных предприятий;
- использовать инструментальные методы исследования и контроля состояния окружающей среды.

Таким образом, общеобразовательный процесс в технических вузах должен осуществляться по двум основным направлениям. Первое – общетеоретическое (мировоззренческое), способствующее формированию у будущего специалиста философского фундамента его профессиональной деятельности. Второе направление – инженерно-техническое, знакомящее студентов с арсеналом средств и методов практической экологии.

Целью экологического образования в техническом университете является формирование специалиста, который может решать проблемы устойчивого развития и охраны окружающей среды научными и инженерными способами. При этом должны быть решены задачи:

- развить представление о человеке как части природы, о единстве и самоценности всего живого и невозможности выживания человека без сохранения биосферы с определенным запасом экологического разнообразия;
- обучить грамотному восприятию явлений, связанных с жизнью человека в природной среде, в том числе с его профессиональной деятельностью;
- внедрять новые перспективные экологически чистые ресурсо- и энергосберегающие технологии и методы природопользования.

Экологическое образование в техническом вузе должно опираться на нормативно-правовое обеспечение, которое является важным инструментом, используемым государством в интересах сохранения и рационального использования окружающей среды. Поскольку основными источниками нарушения экологического равновесия являются промышленные предприятия, на которых трудятся выпускники технических вузов, знание и исполнение всех законов должно способствовать снижению антропогенной нагрузки на природу.

Сложившиеся социально-экономические и социально-культурные условия требуют подготовки специалистов, способных ориентироваться в потоке постоянно меняющейся информации, а также умеющих самостоятельно и творчески мыслить. В процессе обучения выпускники технических специальностей должны овладеть знаниями по инженерной специальности и знаниями экологических закономерностей развития ситуации в техносфере; научиться анализировать и создавать оптимальные условия технико-экологической деятельности, участвовать в решении экологических проблем. Они должны уметь критически оценивать экологическую ситуацию, прогнозировать влияние производства на здоровье человека и окружающую среду, принимать оптимальные решения в чрезвычайных ситуациях. Экологическое образование должно развивать специалистов способность вести практические исследования и делать выводы по техногенной нагрузке на окружающую среду отдельных предприятий и техносферы в целом.

Система образования должна быть непрерывной и постоянной, разноуровневой и разнообразной, так как без развития экологического сознания невозможно ни применение экологически чистых технологий, ни разумное отношение к природным ресурсам, ни установление справедливого экономического порядка.

Не стоит забывать, что в современной сложной экологической обстановке технические университеты должны готовить работников техносферы, имеющих высокий уровень развития экологического сознания, способных к биосферосовместимой деятельности и принятию экологически обоснованных решений в системе «человек – техника – природа».

Г.И.Касперов¹, доц., канд. техн. наук
В.Е.Левкевич², доц., канд. техн. наук

(¹БГТУ, г. Минск, ²Институт экономики НАН Беларуси, г. Минск)

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Решению экологической безопасности Республики Беларусь с учетом их социально-экономических и экологических последствий уделяется огромное значение. Выполненный литературный анализ показал, что на территории Беларуси ежегодно регистрируется до 10 аварийных ситуаций сопровождающихся химическим загрязнением водных объектов. При этом установлено, что масштабы, а в особенности при авариях вблизи водных объектов, имеют большие площади распространения. На территории Беларуси насчитывается более 20000 тыс. рек, 150 водохранилища и 1300 прудов. Площадь водосборов рек колеблется в больших пределах: от менее 50 км² до более 12000 км². Качество поверхностных вод страны контролируется гидрохимической сетью Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, расположенных на 83 водных объектах. Определяется концентрация 50 ингредиентов: элементы основного химического состава; взвешенные и органические вещества; биогенные компоненты; нефтепродукты, фенолы, цианиды и др. Опубликованные Минприроды данные свидетельствуют о том, что поверхностные воды страны испытывают значительную химическую нагрузку. Наибольшее количество недостаточно очищенных сточных вод, содержащих различные химические компоненты и соединения, поступает в реки бассейна Днепра. Среди рек региона наибольшую нагрузку, связанную со сточными водами, испытывают: р. Свислочь ниже Минска, р. Неман ниже Гродно, р. Березина ниже Бобруйска, р. Днепр ниже Могилева и Речицы, р. Зап. Двина ниже Новополоцка, р. Припять ниже Мозыря, р. Ясельда ниже Березы, р. Уза ниже Гомеля.

Согласно данным мониторинга, большинство рек Беларуси в соответствии с индексом загрязнения воды (ИЗВ), в основу которого положены такие параметры как растворенный кислород, БПК₅, азот аммонийный и нитритный, нефтепродукты и цинк, относится к категории умеренно-загрязненных (ИЗВ изменяются от 0,8 до 2,5). Более высокие значения ИЗВ, как правило, характерны для участков рек ниже крупных промышленных центров. Самой загрязненной рекой на территории республики является р. Свислочь на участке ниже выпуска сточных вод Минской станцией аэрации. Результаты наблюдений за состоянием рек и водоемов свидетельствуют о том, что качество

поверхностных вод в последние годы остаются стабильным. Это является следствием проводимой работы по сокращению сброса в водные объекты загрязненных сточных вод, объем которых по сравнению с 1995г. сократился почти в 3 раза. Однако, несмотря на предпринимаемые меры, содержание в воде некоторых загрязняющих веществ (азота аммонийного, азота нитритного, нефтепродуктов и цинка) все еще не отвечает нормативным требованиям.

Наряду с поступлением недостаточно очищенных сточных вод существенным источником химического загрязнения поверхностных вод, как уже было сказано выше, являются аварийные ситуации. Среди главных причин следует указать устаревшее оборудование, исчерпанное ресурс эксплуатации; несвоевременный и некачественный ее ремонт; нарушение технологической дисциплины; небрежность обслуживающего персонала и т.д.

Обобщенный анализ многолетней информации показал, что с 1986 г. на территории Беларуси официально зарегистрировано более 100 техногенных аварий приведших к химическому загрязнению поверхностных вод республики, в результате которых нанесен значительный экологический и материальный ущерб.

Анализ, имеющийся информации показал, что тенденция роста количества анализируемых аварийных ситуаций зависит от ряда факторов и условий, что исключает возможности их детального прогноза. При этом установлено, что масштабы, а в особенности при авариях вблизи водных объектов, имеют большие площади распространения, и как следствие происходит значительный удар экологии. Отмечается массовая гибель моллюсков, раков, рыбы, других водных организмов и водной растительности и т.д. Наряду со значительным материальным и экологическим ущербом следует оценивать и социальный ущерб, который включает в себя вред нанесенный здоровью населения и ухудшение условий обитания.

Наибольшее количество случаев (более 90% от общего числа) сопровождающихся массовым выбросом загрязняющих веществ в водные объекты приходится на аварии в канализационных системах и аварии на очистных сооружениях сточных вод.

Основными загрязняющими компонентами являются фосфор- и азотсодержащие соединения. Повышенное поступление их в водные объекты сопровождается снижением содержания растворенного в воде кислорода до критических значений (что приводит к массовой гибели рыбы) и развитием других крайне нежелательных процессов ухудшающих качество поверхностных вод. К потенциально опасным источникам химического загрязнения водных объектов следует отне-

сти также автомобильный и железнодорожный транспорт, который перевозит химически опасные вещества. По железным дорогам страны ежемесячно перевозится до 1500 вагонов с взрывоопасными и ядовитыми веществами. На многих предприятиях этот вид транспорта является важнейшим при внутривозовских перевозках. Используются как цистерны вместимостью 40–60 тонн, так и различные контейнеры и емкости до 0.8 кубометров. На территории республики осуществляют перевозку опасных грузов транспортные предприятия: всего 3228, автомобильным транспортом – 3173, железнодорожным транспортом – 53, водным транспортом – 2.

Особую опасность представляют аварии при транспортировке химически опасных веществ на речном транспорте. В республике реки судоходны на протяжении 1900 км, что говорит о возможности переноса на большие расстояния химически опасных веществ, в случае возникновения аварий. Данный вид аварии представляет собой особую проблему, поскольку место возможной катастрофы с трудом поддается прогнозу.

Таким образом, ежегодное повторение аварийных ситуаций сопровождающихся массовым сбросом загрязняющих веществ в водные объекты (принимая во внимание стратегический характер водных ресурсов страны) требует принятия превентивных решений для ограничения их распространения, локализации и последующей ликвидации. Решение этой задачи невозможно без комплексного, всестороннего изучения процесса переноса химических загрязнений в водных объектах.

При решении задач моделирования переноса загрязнений в водных объектах, важную роль играет типизация условий поступления веществ-загрязнителей, а также определение соответствующих расчетных схем (алгоритмов), по которым в последующем будет выполняться расчет переноса. В условиях граничного и трансграничного переносов загрязнителей важным является учет характера переноса разных веществ-загрязнителей в рамках чаши водоема. В русловых водохранилищах перенос осуществляется в рамках полей течения, приуроченных к старому руслу реки. В водохранилищах имеющих расширенные плановые очертания, перенос загрязняющих веществ осуществляется более равномерно по всему сечению. Это связано с тем, что в переносе участвуют как стоковые течения, так и течения, возникающие в результате развития ветро-волновых и конвективных процессов. Характер регулирования и проточность водохранилищ определяет объем транзита и сброса загрязнителей в нижний бьеф.

Научно-исследовательская работа по химическому загрязнению

водотоков и водоемов Республики Беларусь (водных объектов) позволила получить следующие результаты:

- проанализированы данные об аварийных ситуациях, приводящих к химическому загрязнению водных объектов;
- разработаны сценарии возникновения аварийных ситуаций, приводящих к химическому загрязнению водных объектов;
- разработана методика натуральных и лабораторных исследований переноса химических загрязнений в водных объектах и натуральных исследований распределения гидродинамических характеристик водного потока;
- проведены натурные исследования распределения гидродинамических характеристик водного потока (на примере Вилейско-Минской водной системы);
- прописан алгоритм расчета переноса химических загрязнений в водохранилищах;
- проведена апробация базы данных и алгоритма переноса химических загрязнений в водных объектах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апацкий А.Н., Аблажей В.П., Калинин М.Ю., Станкевич А.П. Водные ресурсы – основа устойчивого развития Республики Беларусь // Международное сотрудничество в решении водно-экологических проблем: материалы III Международного водного форума. Минск. 2006. С. 8–21.
2. Малик, Л.К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности / Л.К. Малик. М.: Наука, 2005 – 354 с.
3. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 20 января 2006 г. №2 «Об утверждении инструкции по нормированию сбросов сточных вод в поверхностные водные объекты».
4. Водоохранилища Беларуси: справочник / М.Ю.Калинин [и др.]; под общ. ред. М.Ю.Калинина. – Минск: ОАО «Полиграфкомбинат им. Я.Коласа», 2005. – 182 с.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ № 4

РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ В ЛЕСНОМ КОМПЛЕКСЕ И ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ

1. Сейтмагзимов А.А., Сейтмагзимова Г.М. Ресурсосберегающая безотходная технология производства бумаги из соломы пшеницы 5
2. Кутакова Н.А., Коптелова Е.Н., Третьяков С.И., Милькова М.Л. Ресурсо- и энергосберегающая технология получения бетулинового концентрата 9
3. Барташевич А.А., Игнатович Л.В., Утгоф С.С., Коробко Е.В. Ресурсосберегающая технология производства композиционных материалов на основе уплотненной древесины 13
4. Рудак П.В., Куис Д.В., Рудак О.Г., Балтрушайтис А.А. Кятуракис Г. Аспирационное устройство для фрезерных групп деревообрабатывающих станков с числовым программным управлением 17
5. Белецкая М.Г., Богданович Н.И., Саврасова Ю.А., Технология синтеза углеродных адсорбентов из гидролизного лигнина 21
6. Трофимов С.П., Дячек П.И. Нормы проектирования систем аспирации и пневмотранспорта в деревообработке 25
7. Бондарев Р.А., Киркор М.А. Отработка технологии получения тонкодисперсного порошка при производстве биотоплива 29
8. Ледницкий А.В. Использование местных видов топлива как фактор энергетической безопасности Республики Беларусь 33
9. Барковский Е.В., Медяк Д.М. Ресурсо- и энергосбережение в офсетной технологии печати на основе анализа износа поверхностей печатного контакта 37
10. Болтовский В.С., Остроух О.В. Энергосберегающая технология комплексной химической и микробиологической конверсии полисахаридов лигноцеллюлозной биомассы 40
11. Суша О.Н., Карпович Д.С. Моделирование температурного поля в дереворежущем инструменте с использованием программы ANSYS 44
12. Хмызов И.А., Молчан А.В., Сычева Н.А., Соловьева Т.В. Использование отходов древесной биомассы в технологии топливных пеллет 48
13. Пенкин А.А., Новиков А.О., Соловьева Т.В. Ресурсосберегающая технология производства специальных видов бумаги, содержащей в композиции хлопковую целлюлозу 51
14. Старченко О.П., Марченко И.В. Использование ресурсо- и энергосберегающей технологии в производстве книжно-журнальной продукции способом КБС 55
15. Пучкова Н.В., Бей М.П., Ювченко А.П., Белясова Н.А. Аминовые соли терпеноидных кислот в качестве биоцидных добавок к водорастворимым смазочно-охлаждающим жидкостям 59

16. Кривоблоцкий А.Н. Сравнительная оценка экономической эффективности переработки древесных отходов	63
17. Рудак П.В., Куис Д.В., Рудак О.Г., Пискунова О.Ю. Хвостовая фреза, обеспечивающая повышение эффективности аспирации	67
18. Сидоренко А.Ю., Сеньков Г.М., Утенкова Д.Б. Влияние условий кислотной модификации природного алюмосиликата на его состав, структуру и каталитическую активность в реакции изомеризации α -пинена	71
19. Коваленко Н.А., Супиченко Г.Н., Янцевич А.В., Леонтьев В.Н. Экстракты зверобоя прожаренного с повышенным содержанием гиперицина	75
20. Минкевич С.И., Севрук П.В., Иванов М.А., Лавринович В.Е. Анализ погрешностей определения объема заготовленных круглых лесоматериалов	79
21. Тимофеева Е.К., Письменский П.И., Шкирандо Т.П., Соловьева Т.В. Использование древесной массы в композиции бумаги для офсетной печати взамен целлюлозы	82
22. Николайчик И.В., Жолнерович Н.В., Черная Н.В. Влияние процессных и функциональных химикатов на изменение электрокинетических свойств бумажной массы из вторичного сырья	85
23. Попивнич Ю.В., Ледницкий А.В. Газификация древесного топлива как направление ресурсосбережения	89
24. Колесников В.Л., Гордейко С.А., Черная Н.В. Многокритериальная оптимизация составов упрочняющих добавок для производства различных видов бумаги и картона из макулатуры	91
25. Флейшер В.Л., Гермась А.В. Амиды смоляных кислот канифоли в технологии производства бумаги	95
26. Горовая В.В., Ледницкий А.В. Развитие сортиментной заготовки древесины в Республике Беларусь	98
27. Шпак С.И., Скроцкий А.И. Применением кремнийорганического наполнителя для улучшения свойств клеевой композиции на основе карбамидоформальдегидной смолы	100
28. Манцерова Т.Ф., Чиж Е.П. Потенциал использования ВИЭ в Республике Беларусь и за рубежом	104
29. Яковлев М.К. Денситометрия оттисков офсетной печати с использованием формулы Юла – Нильсена	108
30. Щербакова Т.О., Черная Н.В., Жолнерович Н.В., Шпак С.И. Энергосберегающая технология наполнения бумаги и картона синтетическими соединениями	112
31. Чубис П. А., Шишаков Е. П., Коваль В.В. Ресурсосбережение в технологии мешочной бумаги	115
32. Архилин М.А., Богданович Н.И., Меньшина А.А. Ферромагнитные адсорбенты на основе древесных отходов	119
33. Бубнова А.И., Романенко К.А., Богданович Н.И. Синтез и исследование углеродных адсорбентов из коры ели	123
34. Лагунова Е.А., Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Цаплина С.А. Пиролиз черного щелока с получением активных углей и регенерацией химикатов	127

35. Казаков Я.В. Применение современных технологий моделирования анизотропных волокнистых структур для повышения конкурентоспособности разработок в области технологии бумаги и картона	131
36. Баяндин М.А., Елисеев С.Г., Казицин С.Н. Влияние породного состава на физико-механические свойства плитных материалов из активированных опилок	135
37. Руденко Б.Д. Прочность плит из пропилена и отходов окорки	138
38. Пушкин Д.В., Салминен Э.О., Борозна А.А., Насковец М.Т. Энергосберегающие технологии в транспортно-технологическом процессе лесного комплекса	141
39. Билей П.В., Соколовский И.А., Билей П.П., Комбаров А.М. Аспекты ресурсосберегающей технологии начального прогрева пиломатериалов перед сушкой	145
40. Житнюк В.А., Ширинкина Е.С., Вайсман Я.И. Ресурсосберегающая технология переработки макулатурной массы	148
41. Криворотова А.И., Ушанова В.М., Усольцев О.А. Использование отходов окорки при изготовлении древесно-полимерных композиций	152
42. Владимирова Т.М., Третьяков С.И. Применение статистических методов контроля в целях мониторинга состояния объектов окружающей среды и промышленного производства	155
43. Смолин А.С., Шабиев Р.О., Мидуков Н.П. Современные направления в использовании вторичного волокна	159
44. Удальцов В.А., Смирнова Е.Г., Пазухина Г.А. Целлюлоза из древесины берёзы, полученная низкотемпературной варкой в системе гидроксид калия – гидразин – изобутиловый спирт – вода	162
45. Куприян С.В., Ледницкий А.В. Использование бумажных отходов в полиграфическом производстве как направление ресурсосбережения	166
46. Манцера Т.Ф., Нго Ань Туэт Состояние использования и тенденции развития возобновляемых источников энергии во Вьетнаме	168
47. Севастьянова Ю.В., Молодцова М.А. Исследование влияния основных факторов процесса отбели под воздействием СВЧ излучения на структурно-размерные характеристики волокон лиственной СФА целлюлозы	172

СЕКЦИЯ № 5

РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

1. Антихович И.В., Болвако А.К., Черник А.А., Жарский И.М. Смешаннолигандное комплексобразование в ацетатно-хлоридных электролитах никелирования	177
2. Затюпо А.А., Башкиров Л.А., Великанова И.А. Кристаллическая структура, ИК-спектр и магнитные свойства твердых растворов на основе $Bi_2Fe_4O_9$	180
3. Ким К.К., Степанов А.А., Федотов В.А. К вопросу использования электрогидроимпульсного эффекта для сварки металлов.	184

4. Костюк Н.Н., Дик Т.А. Оценка методов синтеза хелатов переходных металлов в соответствии с параметрами зеленой химии.	188
5. Костюк Н.Н., Дик Т.А. Систематизация и оценка методов синтеза хелатов переходных металлов с целью их масштабирования	191
6. Куис Д.В., Окатова Г.П., Свидунович Н.А., Урбанович В.С., Рудак В.П., Таболич И.Л., Ойченко В.М. Композиционные материал на основе нанougлерода, полученный спеканием под высоким давлением	195
7. Куис Д.В., Свидунович Н.А., Волочко А.Т., Шегидевич А.А., Лежнев С.Н., Омелюсик А.В. Алюминиевые композиции, полученные с применением углеродсодержащего сырья	199
8. Латушкина С.Д., Куис Д.В., Рудак П.В., Пискунова О.Ю., Посылкина О.И., Жижченко А.Г. Износостойкие наноструктурные композиционные вакуумно-плазменные покрытия	202
9. Мадьяров В.Р. Определение кинетических параметров полупроводниковых материалов с помощью СВЧ-интерферометрии	206
10. Крук Н.Н., Кленицкий Д. В. Новые методы люминесцентной диагностики с использованием тетрапиррольных соединений.	210
11. Поплавский В.В., Матыс В.Г. Формирование электрокатализаторов топливных элементов окисления метанола и этанола с применением ресурсосберегающей технологии ионно-ассистируемого осаждения металлов	214
12. Поплавский В.В., Матыс В.Г. Состав и свойства покрытий, формируемых на сталях для защиты алюминия и алюминиевого сплава от контактной коррозии	218
13. Акулич Н.Е., Иванова Н.П., Курило И.И., Жарский И.М. Ингибирующие свойства ванадатов металлов	222
14. Харитонов Д.С., Курило И.И., Крышилович Е.В., Жарский И.М. Получение ванадий содержащих пигментов из продуктов переработки промышленных отходов	225
15. Чаевский В.В., Жилинский В.В., Гришкевич А.А., Кулешов А.К. Эффективность гальванической и КИБ обработки лезвий ножей дереворежущего инструмента	228
16. Яскельчик В.В., Михедова Е.В., Жарский И.М., Черник А.А. Ресурсо- и энергосберегающая технология нанесения медных покрытий с включением ультрадисперсных алмазов	231
17. Мазько А. С., Алисиенок О. А., Мурашкевич А. Н. Фотокатализатор для очистки сточных вод на основе нанодисперсных титансодержащих композитов	234
18. Ким К.К., Федотов В.А., Степанов А.А. Электрогидроимпульсная установка для сварки металлов	238
19. Богомазова Н.В., Жилинский В.В., Черник А.А., Воынец О.С., Безбородов В.С., Жарский И.М. Ресурсосберегающий метод формирования ориентирующих структур для жидкокристаллических приборов	241

20. Lukauskaitė M.Sc. R., Valiulis A. V., Černašėjus O., Višniakov N., Škamat J. Investigation of surface pretreatment methods of aluminum alloys for plasma spraying/(Исследование методов подготовки поверхности алюминиевых сплавов для плазменного напыления) 245

СЕКЦИЯ № 6

МЕТОДЫ, ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРОДУКЦИИ. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

1. Барашко О.Г., Сакович А.А. Система автоматического регулирования процесса обжига в шахтной печи 251
2. Михайлов В.Б., Карпович Д.С., Латушкина С.Д. Контроль атмосферы промышленной зоны предприятий сверхчувствительными полупроводниковыми датчиками 254
3. Подобед М.Ю. Моделирование работы вентиляционной системы 256
4. Овцов С.А., Карпович Д.С., Сарака В. В., Гринюк Д.А., Кузьмицкий И.Ф., Барашко О.Б. Синтез оптимального управления движения портального автооператора для гальванических линий грузоподъемностью до 250 кг 259
5. Лялько А.А. Идентификация динамических моделей методами непараметрической и параметрической идентификации 263
6. Александров О.И., Радоман Н.В., Жуковская Т.Е. Оптимизация коммутационных вариаций в энергосистеме с учетом ремонтных работ 266
7. Сухорукова И.Г., Гринюк Д.А., Оробей И.О. Апробация критерия серий к применению в промышленных логических контроллерах 270
8. Голуб Н.С. Принципы построения автоматизированной системы управления надежностью упаковочного оборудования кондитерских производств 274
9. Олиферович Н.М., Гринюк Д.А., Оробей И.О. Динамические характеристики первичного преобразователя параметров впитывания 278
10. Кобринец В.П., Коровкина Н.П., Пустовалова Н.Н. Использование энергосберегающего электропривода как средства экономии электроэнергии на промышленных предприятиях 282
11. Сухорукова И.Г., Гринюк Д.А., Оробей И.О. Повышения чувствительности анализа герметичности запорной арматуры 286
12. Колесников В.Л., Бракович А.И. Web-сервис для расчета теплопотерь помещения 290
13. Драганов Б.Х. Оптимизация энергетических систем методом теоретико-графовых построений 294
14. Клопоцкий А.А., Прокопья О.Н., Олех А.Г. Регулирование температуры в камерах тепловлажностной обработки 301
15. Романовский В.И., Лихавицкий В.В. Разработка математической модели процесса реагентной очистки сточных вод от нефтепродуктов 304
16. Жарский С.Е., Лихавицкий В.В., Максимизация КПД в насосных системах при переменной нагрузке 308

17. Карпович Д.С., Карпович Н.В., Латушкина С.Д., Посылкина О.И. Моделирование и численное решение уравнения теплопроводности 311
18. Карпович Д.С., Михайлов В.Б., Кишкурно В.В. Автоматизированная система управления процессом варки в условиях ОАО «Светлогорский ЦКК» 313
19. Давидович Л. М. Применение асинхронного двигателя с массивным ротором для смоточно-размоточного механизма при кабельном питании электрифицированного внутривозовского транспорта 316

СЕКЦИЯ № 7

ТЕХНИЧЕСКИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

1. Kulesha O., Obushenko T., Tolstopalova N. The investigation of bromphenol blue removal from water by solvent sublation 318
2. Столяренко Г.С., Фомина Н.М. Технология комплексного использования твердых отходов химической промышленности 320
3. Шелег В.К., Ковчур А.С., Москалец Р.А. Современные требования к гальваническому производству 324
4. Столяренко Г.С. Алгоритм стадий проектирования по технологии утилизации шламовых отходов гальванических производств 326
5. Ашуйко В.А., Новикова Л.Н., Чепрасова В.И. Получение некоторых пигментов из отработанных растворов гальванических производств 330
6. Чепрасова В.И., Залыгина О.С. Исследование химического и фазового состава пигментов, полученных на основе отработанных технологических растворов кадмирования 333
7. Лисинецкая М.А., Лихачева А.В. Получение железоксидных пигментных масс из отработанных травильных растворов гальванического производства 336
8. Головнев И.Э., Марцуль В.Н. Использование ультразвуковой обработки в технологии биологической очистки сточных вод 340
9. Марцуль В.Н., Шепелева Н.И., Фарафонов В.Н. Нормирование содержания органических поллютантов в осадках очистных сооружений канализации 346
10. Марцуль Е.В., Манамперума Лелум, Ратнавеера Харша. Использование полиэлектролитов для повышения степени очистки сточных вод от фосфатов и улучшения качества осадков 349
11. Нестер О.В., Маркевич Р.М., Булицкая М.В., Авласевич Ю.Е. Преимущества использования и условия формирования гранулированного аэробного активного ила 353
12. Рымовская М. В., Федюк О. В., Харченко Э. А. Условия проведения и способы оценки результатов анализа дегидрогеназной активности ила городских очистных сооружений 357
13. Лихачева А.В., Шемет Ю. Н. Исследование влияния биоактиваторов на интенсивность биокомпостирования осадков сточных вод 361
14. Буко З.В., Лихачева А.В. Использование отхода переработки торфа в качестве сорбента тяжелых металлов из сточных вод 365

15. Янута Ю.Г., Абрамец А.М. Использование торфяной золы при получении мелиоративных материалов 369
16. Шибека Л.А. Перспективы использования полиэлектролитных комплексов в процессах очистки сточных вод, образующихся при окраске тканей 372
17. Гречаников А.В., Платонов А.П., Ковчур С.Г. Неорганические отходы станций обезжелезивания и теплоэлектроцентралей как добавка к керамическим массам строительного назначения 376
18. Жарская Т.А., Коротченя Т.С. Основные направления использования кубового остатка дистилляции капролактама 379
19. Дубина А.В., Марцунь В.Н., Асташко А.С. Очистка сточных вод производства и применения карбамидоформальдегидных смол от формальдегида 383
20. Дернович А.В. Переработка нефтешламов методом термодесорбции 387
21. Янец Е.А. Рециклинг в системе управления технологичностью упаковки молочной продукции 392
22. Потоцкий В.Н., Ковчур С.Г. Проблемы химизации в лёгкой промышленности 397
23. Столяренко Г.С., Вязовик В.Н. Электрокаталитический способ интенсификации процессов горения 400
24. Метельская Н.С., Кабашников В.П., Залыгина О.С. Использование моделирования в контроле содержания аэрозоля в атмосфере 404
25. Драганов Б.Х. Оптимизация энергетических систем методом теоретико-графовых построений 407
26. Драганов Б.Х. Возобновляемые источники энергии – метод решения проблемы экологической защиты 415
27. Неверов А.В., Трич Ю.А. Инновационные аспекты ресурсосбережения в стекольной промышленности 419
28. Владимирова Т.М., Третьяков С.И. Применение статистических методов контроля в целях мониторинга состояния объектов окружающей среды и промышленного производства 423
29. Лейнова С.Л., Соколик Г.А., Свирщевский С.Ф., Понарядов В.В., Рубинчик С.Я., Клевченя Д.И. Контроль токсичности продуктов горения звукопоглощающих и звукоизоляционных изделий 427
30. Россоха Е.В. Экономические аспекты управления технологическими процессами 430
31. Неверов А.В., Равино А.В. Влияние процесса глобализации на развитие экологического образования 433
32. Подтероб А. П., Зинькова Т. Н. Оценка степени атмосферного загрязнения на основе количественных характеристик пигментного фонда лишайника *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr 435
33. Свирский П.Д. Энергосбережение в строительстве. Экодевелопмент 438
34. Тимонова Е.Т., Тимонов И.А. Формирование экологических компетенций выпускников технических специальностей 441
35. Касперов Г.И., Левкевич В.Е. Экологическая безопасность территорий при химическом загрязнении водных объектов 445

Научное издание

**РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И
ОБОРУДОВАНИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Материалы Международной
научно-технической конференции
В 2-х частях**

Часть 2

В авторской редакции
Ответственный за выпуск Е.О. Черник
Компьютерная верстка Е.О. Черник, А.А. Левитская
Подписано в печать 24.11.2014. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 25,56. Уч.-изд. л. 27,42.
Тираж 60 экз. Заказ 534.

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
ЛП № 02330/ от 30.12.2013.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.