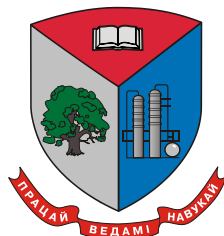


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет»
Минское областное отделение РГОО
«Белорусское общество «ЗНАНИЕ»
Международное общество ученых технического образования

*Посвящается
185-летию со дня рождения Д.И. Менделеева
160-летию лесотехнического образования Беларуси
55-летию организации НИЧ БГТУ*



ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА

**Материалы докладов 83-й научно-технической конференции
профессорско-преподавательского состава,
научных сотрудников и аспирантов
(с международным участием)**

4-14 февраля 2019 г.

Минск 2019

УДК 66+62]:005.745(0.034)

ББК 35я73

X 46

Химическая технология и техника : материалы 83-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 4-14 февраля 2019 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И.В. Войтов; УО БГТУ. – Минск : БГТУ, 2019. – 184 с.

Сборник составлен по материалам докладов научно-технической конференции сотрудников Белорусского государственного технологического университета, в которых отражены новые успехи и достижения в таких областях исследований, как охрана окружающей среды, разработка способов утилизации различных отходов, использование осадков сточных вод гальванических производств ведущих предприятий Беларуси, получение новых керамических материалов и создание высокоэкономичных источников общего освещения на основе светодиодов, нетрадиционные методы получения некоторых твердых растворов и изучение их физико-химических свойств, принципы синтеза роботизированного комплекса для процессов термической обработки металла и многое другое.

Сборник предназначен для работников различных отраслей народного хозяйства, научных сотрудников, специализирующихся в соответствующих областях знаний, аспирантов и студентов ВУЗов.

Рецензенты: декан факультета ХТиТ, канд. техн. наук Ю.А. Климош;
проф. кафедры ТСиК, д-р техн. наук И.А. Левицкий;
доц. кафедры МиАХиСП, д-р техн. наук,
П.Е. Вайтехович,
зав. кафедрой ХТЭХПиМЭТ, канд. хим. наук,
А.А. Черник,
доц. кафедры АППиЭ, канд. техн. наук, доц.
И.Ф. Кузьмицкий,
зав. кафедрой ПЭ, канд. техн. наук, доц. В.Н. Марцуль,

Главный редактор

ректор, профессор И. В. Войтов

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Терещенко И.М., Войтов И.В., Дормешкин О.Б., Кравчук А.П., Жих Б.П.</i> Производство стекловидных теплоизоляционных материалов: состояние, тенденции и перспективы развития.....	9
<i>Ещенко Л. С.</i> Методы очистки сточных вод и основные направления переработки образующихся шламов.....	11
<i>Левицкий И.А., Хоружик О.Н.</i> Особенности формирования фазового состава и структуры клинкерного кирпича.....	13
<i>Шалухо Н.М., Судникович Т.М., Чистякова Г.Г., Сахар Г.Г.</i> Свойства композиционных стоматологических материалов химического отверждения.....	15
<i>Гаврилюк А.Н., Дормешкин О.Б., Титок М.В.</i> Разработка технологии получения 34%-го раствора хлористого кальция.....	16
<i>Сумич А.И., Ещенко Л.С.</i> Особенности гранулирования солевых композиций.....	18
<i>Левицкий И.А., Шнигир Е.И.</i> Цветные глазурные покрытия для бытовой керамики, контактирующей с пищевыми продуктами.....	19
<i>Павлюкевич Ю.Г., Ларионов П.С.</i> Стеклокерамические пропанты на основе природного сырья Республики Беларусь.....	21
<i>Трусова Е.Е., Klement R., Ваца L., Veteška P., Janek M.</i> Ап-конверсионно люминесцирующие керамические материалы.....	23
<i>Судникович Т.М., Кузьменков М.И., Шалухо Н.М., Богданович И.А.</i> Стеклоиономерный цемент для фиксации ортопедических конструкций.....	24
<i>Левицкий И.А., Шиманская А.Н., Лозко С.В., Соколовская М.С.</i> Металлизированные глазури для керамогранита.....	25
<i>Павлюкевич Ю.Г., Папко Л.Ф.</i> Использование колеманита в производстве непрерывного стекловолокна.....	27
<i>Ещенко Л.С., Новик Д.М., Битук А.Д., Ещенко Н.Д.</i> Интенсификация процесса конверсии $FeSO_4$ в системе железный купорос – CaO – O_2 – H_2O	29
<i>Левицкий И.А., Подгорнов Д.С.</i> Нефритованные глазури для санитарных керамических изделий.....	30
<i>Шалухо Н.М., Кузьменков М.И., Велюго Ю.В.</i> Получение жидких стекол низкотемпературным способом.....	32
<i>Дяденко М.В., Папко Л.Ф., Крайнова Д.А., Саева Н.С.</i> Стекла для герметизации твердооксидных топливных элементов.....	34
<i>Сергиевич О.А., Дятлова Е.М., Алексеенко И.А.</i> Износостойкие керамические материалы с самоглазурующейся поверхностью.....	35
<i>Попов Р.Ю., Макушенко Е.Н., Гоман Т.А.</i> Футеровочные материалы для тепловых агрегатов.....	36
<i>Яглов В.Н., Меженцев А.А., Бурак Г.А., Кречко Н.А.</i> Использование промышленных отходов для получения строительных материалов.....	38
<i>Волкова О.И., Золотухина Н.А.</i> Исследование сорбционных характеристик ионообменных смол для водоподготовительных установок.....	39
<i>Барановская Е.И., Янушевский В.И.</i> Разработка составов ячеистобетонных смесей с использованием химических добавок комплексного действия.....	41

<i>Яглов В.Н., Меженцев А.А., Бурак Г.А., Шагайко Ю.В.</i> Способы утилизации гранитных отсеков.....	42
<i>Жукова И.И., Левицкий И.А.</i> Ангобные покрытия для рельефной стороны керамических плиток.....	43
<i>Булай Т.В., Кузьменков М.И., Шалухо Н.М., Кузьменков Д.М.</i> Исследование водопоглощения серного бетона.....	44
<i>Татеева А.Б., Байкенов М.И., Муратбекова А.А., Кокжалова Б.З.</i> Производство электродов и игольчатого кокса.....	45
<i>Байкенов М.И., Мухаметжанова С.К., Балпанова Н.Ж.</i> Каталитические добавки для кавитационной обработки нефтяных топлив.....	48
<i>Абсат З.Б., Алдабергенова С.К., Рахимжанова Н.Ж., Халикова З.С., Кочегина Е.В., Каримова А.Б.</i> Очистка медного электролита псевдобрукитом....	50
<i>Байкенов М.И., Татеева А.Б., Муратбекова А.К., Мухаметжанова С.К.</i> Термохимическая переработка смеси гудрона и ПКС.....	51
<i>Муратбекова А.А., Татеева А.Б., Байкенов М.И., Салькеева Л.К., Манапов Б.М.</i> Переработка углеводородных остатков.....	52
<i>Байкенов М.И., Татеева А.Б., Муратбекова А.К., Мухаметжанова С.К.</i> Кавитационная обработка модельных объектов в присутствии различных каталитических систем.....	55
<i>Козловский В.И., Петров О.А.</i> Диспергационные методы получения тонкодисперсных материалов.....	56
<i>Вайтехович П.Е., Боровский Д.Н., Гапанюк Д.В.</i> Кинематика рабочего органа планетарного смесителя.....	57
<i>Андрюжневский А.А., Трифонов А.Г., Карпович Л.С.</i> Имитационное моделирование структуры и динамических параметров парожидкостного потока в замкнутом контуре с естественной циркуляцией системы пассивного отвода остаточного тепловыделения АЭС.....	58
<i>Дударев В.В., Фарафонов В.Н.</i> Инженерная аппроксимация решения задачи о теплопроводности цилиндрического слоя загрязнения на внешней поверхности оребренной трубы.....	60
<i>Калишук Д.Г., Левданский А. Э., Саевич Н.П., Опимах Е.В.</i> Разработка холодильника-конденсатора опытно-промышленной установки пиролиза шин.....	62
<i>Карниевич А.А., Ковалева К.А., Тишевич А.Ю., Левданский А. Э.</i> Химический микроанализ нефтяного кокса ОАО «Нафтан» и исследование процессов его подготовки к последующему использованию.....	63
<i>Кобринец В.П., Коровкина Н.П., Пустовалова Н.Н.</i> Некоторые мероприятия по энергосбережению на промышленных предприятиях.....	64
<i>Волк А. М., Францкевич В.С.</i> Моделирование процесса классификации полидисперсных материалов в динамических воздушных сепараторах.....	65
<i>Новик Д.М., Францкевич В.С., Шалейко А.В.</i> Исследование коррозионной стойкости конструкционных материалов шнекового растворителя.....	66
<i>Павлечко В. Н. , Герасимчик С. А.</i> Использование коэффициента сопротивления при расчете действительного давления радиального вентилятора.....	67
<i>Павлечко В. Н., Францкевич В.С., Филиппов М.В.</i> Методы снижения примесей в техническом кислороде.....	68
<i>Володин В. И., Здитовецкая С.В., Кунтыш Б.В.</i> Конденсатор-аккумулятор теплонасосной системы теплоснабжения.....	70
<i>Володин В. И.</i> Оптимизация испарителя аэротермального теплового насоса.....	72

<i>Данильчик Е. С., Сухоцкий А. Б.</i> Исследование влияния угла наклона оробренной трубы и однорядного пучка на свободно-конвективный теплообмен.....	74
<i>Левданский И.А., Волк А. М., Левданский Э. И.</i> Исследования движения крупнодисперсных частиц в вихревом газовом потоке в перфорированном элементе.....	76
<i>Отимах Е.В., Ушак Н.С., Левданский А. Э.</i> Оптимизация конструкции пневматического азратора численным моделированием.....	78
<i>Мисюля Д. И., Кузьмин В.В.</i> Численные исследования высокоэффективного циклона СЦН-40.....	80
<i>Францкевич В.С., Семенов Е.А.</i> Оптимизация конструкции высоконагруженных узлов валкового пресса.....	81
<i>Ануфриев В.П.</i> О создании внутрикорпоративной программы энергосбережения с включением механизмов торговли квотами CO ₂ -экв. на химических предприятиях.....	82
<i>Насертдинова А. Д., Вольфсон С. И., Хусаинов А. Д., Мустафин А. М., Насертдинов И. Д.</i> Маслобензостойкие термопластичные вулканизаты на основе смеси полярного каучука и АБС-пластика.....	84
<i>Таранова Л. В.</i> Анализ путей энергосбережения в процессах переработки углеводородных газов.....	85
<i>Янаков В. П.</i> Техника и технологии замеса теста.....	87
<i>Башикиров Л.А., Великанова И.А., Дудчик Г. П., Глинская А.А.</i> Разработка методов синтеза твердых растворов на основе феррита висмута с использованием в качестве прекурсоров различных соединений висмута и редкоземельных элементов.....	88
<i>Клындюк А. И. , Чижова Е. А. , Шевченко С. В. , Кришук А. В.</i> Электротранспортные свойства керамики на основе слоистого кобальтита бария.....	90
<i>Петров Г.С., Глинская А.А., Лубинский Н.Н., Башикиров Л.А.</i> О сенсорных свойствах некоторых твердых растворов состава V _{1-x} La _x Fe _{1-x} Co _x O ₃	92
<i>Петров Г.С.</i> О теплоемкости древесины.....	93
<i>Галковский Т.В., Богомазова Н.В., Ястреб К.И., Жарский И.М.</i> Влияние состава прекурсоров на ионное наплаивание сульфидных пленочных структур.....	94
<i>Шелег В. А. , Курило И.И., Баранцева С.Е., Климош Ю.А.</i> Разделительные покрытия для кокильного литья алюминиевых сплавов.....	96
<i>Касач А.А., Харитонов Д.С., Жарский И.М., Курило И. И.</i> Особенности электрокристаллизации сплава медь-олово из сернокислого электролита.....	98
<i>Кубрак П. Б., Черник А.А., Савко Я. А.</i> Электрохимическое полирование сплавов алюминия с использованием нестационарных токовых режимов.....	100
<i>Кубрак П.Б., Черник А.А., Корнева В.А.</i> Исследование процесса электрохимического полирования меди в различных режимах электролиза...	102
<i>Акулич Н.Е., Жарский И.М., Иванова Н.П.</i> бесхромовая пассивация гальванических цинковых покрытий.....	104
<i>Матыс В.Г., Ашуйко В.А., Блажевич О.С.</i> Влияние добавок никеля, кобальта и марганца на защитные свойства конверсионных покрытий на цинке, полученных из молибдат-фосфатных растворов	105

<i>Кешин А.В., Черник А.А.</i> Синтез и исследование слоистых двойных гидроксидов.....	106
<i>Босьяков М.Н., Моисеенко А. Н., Грицук А.А.</i> Кинетика формирования насыщенного слоя при цементации в тлеющем разряде.....	108
<i>Козлова О.К., Курманова А.Ф., Кутжанова К.Ж., Пустолайкина И.А.</i> Квантово химическое моделирование молекулы салициловой кислоты.....	110
<i>Ежкова А.М., Ежков В.О., Яппаров И.А., Нефедьев Е.С., Катнов В.Е., Ежков Д.В.</i> Наноструктурный фосфорит: изготовление, структура и физико-химические свойства.....	112
<i>Кохановский В.А.</i> Разработка материала для контактов электрических коммутационных аппаратов.....	114
<i>Санникова В.А., Черкасова Т.Г.</i> Комплексообразование гексафторосиликатов некоторых d-металлов с никатинамидом.....	115
<i>Пустолайкина И.А., Курманова А.Ф., Кутжанова К.Ж., Эрзямкина В.Ю.</i> Квантово химическая оценка влияния димеризации на протолитические свойства серной кислоты.....	117
<i>Черкасова Е. В.</i> Двойные комплексные соли гекса (изотиоцианато) хроматов(III) комплексов лантаноидов(III) с никотиновой кислотой.....	119
<i>Поболь И.Л., Кананович Н.А., Предко А.А.</i> Высоковольтное электрохимическое оксидирование сплава алюминия АМг2.....	121
<i>Дюсекеева А.Т., Калдыбаева А.К.</i> Индицирование рентгенограмм двойных теллуридов.....	123
<i>Дюсекеева А.Т., Калдыбаева А.К.</i> Химический анализ двойных теллуридов цинка.....	125
<i>Марицун В.Н.</i> Определение биогазового потенциала осадков очистных сооружений канализации.....	127
<i>Сапон Е. Г., Марицун В. Н., Тихонович А. И.</i> Исследование параметров процесса извлечения азота и фосфора из возвратных потоков очистных сооружений в виде струвита.....	128
<i>Залыгина О.С., Чепрасова В.И., Кузьменкова О.Ю.</i> Влияние блескообразователей на процесс осаждения ионов цинка из отработанных хлоридно-аммонийных электролитов цинкования.....	129
<i>Шибeka Л.А., Синькевич В.О.</i> Сравнительный анализ различных направлений использования скопа.....	130
<i>Пугачева И.Н., Молоканова Л.В.</i> Снижение экологической нагрузки на окружающую среду за счет переработки вторичных полимерных материалов.....	131
<i>Дубина А.В., Марицун В.Н.</i> Способ очистки высококонцентрированных сточных вод деревообрабатывающих производств.....	133
<i>Лихачева А.В., Остапук О.Н.</i> Биокомпостирование скопа, образующегося на ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин».....	134
<i>Лихачева А.В., Пашкевич О.Д.</i> Получение оксида цинка из отработанных электролитов гальванического цинкования.....	135
<i>Darkazanli M., Kiseleva I.</i> The Effects Of Inoculation Barley By Endophytic Bacteria (<i>Methylo Bacterium SP.</i>).....	136
<i>Макаревич Е. А., Папин А. В., Черкасова Т. Г.</i> Исследование применения твердого углеродного остатка пиролиза автошин в качестве адсорбента.....	138

<i>Клименко Н.А., Гаврилкина Д.В., Пирог Т.П., Леонова Н.О.</i> Влияние фитогормонов <i>Nocardia Vaccinii</i> ИМВ В-7405 и <i>Acinetobacter Calcoaceticus</i> ИМВ В-7241 на урожайность помидоров.....	140
<i>Кузин Е. Н., Азопков С. В., Кручинина Н. Е., Алдущенко Н. А., Тяглова Я.В.</i> Очистка воды поверхностного источника с использованием комплексного коагулянта.....	142
<i>Сулейко Т.Л., Семёнова Е.И., Бублиенко Н.А.</i> Использование сапонита в процессе очистки сточных вод.....	144
<i>Тихомирова А.В., Соколова Е.А.</i> Влияние промышленных выбросов на экологическое состояние водоёмов.....	146
<i>Санникова Н.Ю., Суханов П.Т.</i> Определение синтетических азосоединений в производственных водах.....	148
<i>Лялько А.А.</i> Синтез гибридных систем управления для объектов с запаздыванием.....	150
<i>Лялько А.А.</i> Анализ работы фильтра Калмана в структуре системы управления на фоне негауссовских помех.....	151
<i>Карпович Д. С., Подобед М.Ю. , Сарока В. В.</i> Лабораторный стенд на основе преобразователя частоты опim680 для обучения студентов.....	152
<i>Карпович Д. С. , Оробей И.О. , Сарока В. В. , Овцов С.А.</i> Использование MEMS гироскопа для исследования динамических характеристик портального автооператора.....	153
<i>Карпович Д. С. , Овцов С.А. , Сарока В. В.</i> Очистка сточных вод в цеху анодирования роботизированной гальванической линии.....	154
<i>Оробей И.О. , Сарока В. В. , Анкуда М.А.</i> Измеритель расходов на эффекте Джекобсона-Вангснесса.....	155
<i>Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Олиферович Н.М., Гвоздев М.М.</i> Фильтрация динамических сигналов в условии высокого уровня помех.....	156
<i>Гринюк Д.А., Жарский С.Е., Оробей И. О. , Павлюкевич Д. Ю.</i> Экспериментальное исследование механических колебаний ленты.....	157
<i>Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Чакур Д. И.</i> Влияние рассогласования simpletime регуляторов на работу каскадной системы регулирования.....	158
<i>Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Олиферович Н.М., Швейкус В. А.</i> Об использовании аperiodического регулятора для настройки ПИД-регулятора.....	159
<i>Барашко О. Г. , Овсянников А. В.</i> Интеллектуальные системы управления производством: особенности и функциональные возможности.....	160
<i>Овсянников А. В. , Барашко О. Г.</i> Обобщенное распределение гиперболического секанса: робастные свойства и применение.....	161
<i>Жарский С.Е. , Олиферович Н.М., Анкуда М.А., Лысов Е.А.</i> Использование объектно-ориентированного программирования в среде CodeSys 3.5 при синтезе систем управления механическими производственными процессами на примере системы управления автооператором.....	162
<i>Подобед М.Ю., Сидорчик Д.Е.</i> Качественное регулирование температуры приточного воздуха при дросселирующей схеме гидравлического контура.....	163
<i>Клютко М. В. , Кобринец В. П.</i> Основные методы сегментации изображений в системах технического зрения.....	164

<i>Клютко М. В. , Стоцкий В. А.</i> Реализация системы технического зрения на примере программно-аппаратного комплекса «DOBOTMAGICIAN».....	165
<i>Анкуда М. А. , Жарский С. Е. , Олиферович Н. М.</i> Моделирование тепловых процессов в экструдере 3D-принтера.....	166
<i>Анкуда М. А. , Жарский С. Е. , Олиферович Н. М.</i> Разработка системы регулирования температуры в зоне плавления экструдера 3D-принтера.....	168
<i>Леончук А.В., Карнович Д. С.</i> Исследование теплосетей как объекта автоматизации.....	170
<i>Ахралович Р.И, Карнович Д. С.</i> Системы автоматизации процессов децентрализованного доступа.....	171
<i>Козлов Г.Г., Карнович Д. С.</i> Система динамического взвешивания как элемент системы управления на УП «МинскИнтерКапс».....	172
<i>Рудь А. А., Михайлов В. Б.</i> Моделирование тепловых объектов с различными законами распределения температуры.....	173
<i>Широков А.В., Карнович Д.С.</i> Разработка импортозамещающего DC-DC преобразователя с использованием элементарной базы ОАО «ИНТЕГРАЛ».....	174
<i>Кунцевич Н.А., Карнович Д.С.</i> Линия сушки тиснильно-склеивающей машины как объект автоматизации.....	175
<i>Брель Н. М., Барашко О. Г.</i> Система автоматического управления процессом размола. Особенности и варианты реализации.....	176
<i>Нерсесян Е.А., Кузьмицкий И.Ф.</i> непрерывное взвешивание сыпучих материалов и продуктов, перемещаемых ленточными транспортерами (конвейерами).....	178
<i>Якубовская Е. С.</i> Автоматизация разработки структуры управления в графическом пакете САПР.....	179
<i>Васильева Е. В. , Черкасова Т. Г., Неведров А. В. , Папин А. В., Субботин С.П., Пилецкая А.Б., Дороганов В. С.</i> Применение нейросетевого метода прогноза выхода химических продуктов коксования в практике коксохимического производства.....	180
<i>Симикова А.А., Башкирцева Е.В., Фурман Н.В., Федосенков Б.А.</i> Многомерное управление процессом дозирования.....	182

И.М. Терещенко, доц., канд. техн. наук;
И.В. Войтов, д-р техн. наук;
О.Б. Дормешкин, проф., д-р техн. наук;
А.П. Кравчук, ст. преп., канд. техн. наук;
Б.П. Жих, мл. науч. сотр. (БГТУ, г. Минск)

ПРОИЗВОДСТВО СТЕКЛОВИДНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ: СОСТОЯНИЕ, ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Из всех видов теплоизоляционных материалов пеностекло считается эталоном, сочетающим высокие теплоизоляционные свойства с негорючестью, жесткостью, экологической безопасностью и практически неограниченным сроком эксплуатации. Однако данный вид утеплителей так и не стал материалом широкого использования, в силу экономических и технологических причин.

Основными недостатками производства блочного пеностекла, является необходимость тонкого измельчения стеклобоя, вспенивания порошковых смесей, использование форм из жаростойкой стали, применение сортового стеклобоя. Издержки технологии плитного пеностекла обуславливают его стоимость на рынке выше 300 \$/м³.

Переход к технологиям получения гранулированного пеностекла существенно снижает производственные издержки, впрочем, недостаточно, для того чтобы конкурировать по цене с доминирующими на рынке волокнистыми и полимерными ТИМ.

В течение длительного периода времени производство гранулированного пеностекла считалось материалосберегающей технологией, так как в этом случае происходит повторное использование очищенного боя стекла. Однако, не следует забывать, что на получение этого боя уже затрачено изрядное количество энергоресурсов, к тому же, это один из самых рециклируемых отходов производств. В развитых странах доля возвращаемого в собственное производство стеклобоя составляет до 80 %, один самых высоких показателей в промышленности. В связи с этим использование стеклобоя в качестве сырья для получения материалов на его основе в настоящее время следует считать не актуальным. Кроме того, рыночная стоимость сортированного стеклобоя составляет около 80 \$/т.

Стеклобой, пригодный для производства гранулированного пеностекла, образуется на предприятиях по переработке бросового стеклобоя, целевой продукцией которых является сортированный по цветам продукт. Фракция же с размером кусков < 5 мм предварительно

отсеивается, поскольку для мелких частиц автоматическое сортирование по окраске не может быть реализовано.

Установлено, что усредненный состав отсевов стеклобоя включает 88–90 % стекла, органические включения – 6–7 %, керамика и камни – 3–4 %, а химический состав стекла близок к типичному составу тарного стекла.

В ходе исследований, проведенных на кафедре стекла и керамики БГТУ, разработаны составы шихт на основе указанных отсевов, которые при одностадийной термообработке при 800 °С формируют вспененные материалы с насыпной плотностью 110–180 кг/м³ (в зависимости от гранулометрии), теплопроводность – 0,051–0,059 Вт/м•К, прочность на сжатие – 0,6–0,9 МПа. Проведенные технико-экономические расчеты производства гранулированных ТИМ на основе отсевов сортировки стеклобоя из расчета годовой мощности цеха в 50 тыс.м³/год показали, что расход сырьевых материалов и топливно-энергетических ресурсов составляет 35–40 руб/м³.

Перспективным видом сырьевых материалов, на основе которых возможно получение гранулированного пеностекла, является аморфный природный и техногенный кремнезем. В качестве природного кремнеземистого сырья могут выступать вулканогенные – туфы, перлит, обсидиан или осадочные породы – диатомиты, трепела, опоки и цеолиты. Техногенным сырьем, пригодным для подобной технологии, может быть кремнегель, микрокремнезем, зола уноса ТЭС. На кафедре технологии стекла и керамики в БГТУ в течение длительного периода проводятся исследования в области синтеза новых низкотемпературных материал- и энергосберегающих технологий на основе как природного так и техногенного кремнеземистого сырья по одной универсальной технологии, предусматривающей мокрую подготовку смеси, синтез гидросиликатов и их термообработку. Преимуществом такой технологии является однократная термообработка, в ходе которой проходит остекловывание и вспенивание.

Использование отходов, отсутствие в технологическом процессе энергоемких стадий (сушка, тонкое измельчение), а также низкие температуры вспенивания (350–450 °С) обеспечивают себестоимость продукции в пределах 45–55 \$ за 1 м³ в зависимости от гранулометрического состава, что в два раза ниже чем у пеностекла. Гранулированные материалы обладают комплексом свойств, близких к традиционному пеностеклу, которое считается эталоном для теплоизоляционных материалов.

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОБРАЗУЮЩИХСЯ ШЛАМОВ

В большинстве стран мира при очистке сточных вод образуется значительное количество осадков, которые называют шламами. Наибольшие объемы сточных вод образуются при поверхностной обработке металлов с целью нанесения на них гальванических покрытий. Основными процессами обработки металлов являются: механические (шлифование, кварцевание, струйно-образивная обработка) и химические, электрохимические (обезжиривание, травление, фосфатирование). Исходя из вида технологических операций, сточные воды гальванических производств чаще всего содержат ионы тяжелых металлов (хрома, цинка, никеля, меди и других), цианистые, фосфатные, хлоридные, сульфатные соединения.

Для очистки сточных вод гальванических производств используют различные методы, такие как реагентный, электрокоагуляция, гальванокоагуляция, электролиз, электродиализ, электрофлотация, ионный обмен, обратный осмос, адсорбция, дозированное выпаривание. На современном уровне предлагается принципиально новая технология биохимической очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, органических веществ и неорганических солей.

Особого внимания заслуживает метод, основанный на обработке стоков ферроферригидрозоле (ФФГ). ФФГ образуется при электролитическом растворении металлического железа, сопровождающимся протеканием ряда процессов: окислением Fe^{2+} в Fe^{3+} , гидролизом акватированных комплексов $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, оляцией и гидролитической полимеризацией гидроксокомплексов железа (III) с образованием полимерных соединений со все возрастающим числом оловых мостиков вплоть до образования частиц гидроксида с нулевым зарядом. Образующиеся при этом полимерные соединения представляют собой агрегаты, близкие по размерам к коллоидным частицам, и обладают высокой реакционной способностью.

При очистке сточных вод с помощью ФФГ происходит одновременно образование ферритов $\text{M}_n\text{Fe}_{3-n}(\text{OH})_6$, восстановление Cr (VI) до Cr (III), взаимодействие присутствующих в сточной воде ионов с гидроксокомплексами железа, сопровождающееся замещением в них гидроксильных групп. При этом ФФГ выступает как реагент, адсорбент, коагулянт, что обеспечивает высокую степень очистки сточных

вод как от ионов тяжелых металлов, так и от органических и неорганических соединений.

В зависимости от состава сточных вод и способа их очистки образующиеся шламы отличаются содержанием соединений железа, тяжелых металлов, органических и неорганических примесей. Исходя из этого, основными направлениями утилизации шламов являются переработка с целью снижения их токсичности с последующим захоронением или длительным складированием, или переработка с получением товарных продуктов, в частности, строительных и пигментных материалов, металлов и других продуктов. Особый интерес представляет получение на основе железосодержащих шламов пигментов-наполнителей, антикоррозионных, хроматических пигментов с декоративными функциями. Показано, что для получения пигментов-наполнителей целесообразно использовать шламы, образующиеся при реагентной очистке сточных вод, антикоррозионных пигментов – шламы после очистки цинкжелезосодержащих сточных вод. Цветовые, малярно-технические характеристики хроматических пигментов зависят от содержания в них хромофора – оксида железа, что определяется составом шлама. Для этих целей наиболее выгодно применение шламов, образующихся при очистке сточных вод с помощью ФФГ, содержащих максимальное количество соединений железа по сравнению с другими шламами.

На основании обобщения и анализа экспериментальных данных, полученных при термической переработке шлама, образующегося на ОАО «МТЗ» и других предприятиях, показано, что продукты термообработки в интервале 600–800°C обладают насыщенным коричневым или красным цветом в зависимости от химического состава шлама. Установлены критерии химического соответствия, согласно которым красно-коричневые пигментные материалы образуются при термообработке шлама в интервале 700–800°C при молярном соотношении $Zn:Fe_2O_3=(0,05-0,020):1,0$ и $Fe_2O_3:\Sigma(NiO+CuO+Cr_2O_3)=1,0:(0-0,1)$; коричневые – в интервале 600–700°C при молярном соотношении $Zn:Fe_2O_3=(0,05-0,020):1,0$ и $Fe_2O_3:\Sigma(NiO+CuO+Cr_2O_3)=1,0:(0,1-0,2)$. Отмечено, что пигментные материалы, полученные термической переработкой шлама, образующегося при очистке сточных вод ФФГ, являются высокодисперсными (преобладающий размер частиц 0,3–0,6 мкм), обладают относительно высокой кроющей способностью (укрывистость 11,0–13,0 г/м²), чистотой и яркостью коричневого или красно-коричневого цвета.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА

Образцы керамических масс клинкерного кирпича получены пластическим способом на основе полиминерального глинистого сырья, включающего тугоплавкую глину месторождения «Городное» (Брестская область), суглинки месторождения «Фаниполь» (Минская область), гранитоидные отсеvy фракции менее 0,1 мм – отходы камнедробления Микашевичского карьера (Брестская область) с добавкой 10 мас.% глины марки БК-0 месторождения «Большая Карповка» (Россия, Курская область).

Оптимальная температура обжига образцов составляла 1080 – 1100 °С с выдержкой при максимальной температуре 2 ч. Образцы характеризуются следующими значениями физико-механических свойств: водопоглощение составляет 4,4–5,0 %, кажущаяся плотность – 2180–2275 кг/м³. Морозостойкость при объемном замораживании составляет более 100 циклов, теплопроводность – 0,41–0,43 Вт/м·К. Удельная эффективность радионуклидов – 170–203 Бк/кг.

Фазовый состав образцов представлен аморфизированным глинистым веществом, цементированным значительным количеством стеклофазы. Установлено наличие муллита, анортита, гематита и небольших количеств α -кварца. С помощью дифференциальной сканирующей калориметрии в массах установлены эндотермические эффекты при 70°C, 145°C и 485–580°C, связанные с удалением влаги затворения, адсорбированной и кристаллизационной воды их глинистых материалов. При 700 °С отмечается эндоэффект, обусловленный декарбонизацией MgCO₃, при 950–1000°C – карбоната кальция. Экзотермический эффект при 925–940°C обусловлен формированием кристаллической фазы анортита, а далее при 1100°C – муллита.

Структура керамического черепка клинкерного кирпича исследовалась с помощью сканирующего микроскопа MIRA3 TESCAN (Япония) со свежего скола образцов. На рисунке представлены фотографии образца оптимального состава (15.2) в сопоставлении с образцом (5.2), не обеспечивающим требуемые характеристики по водопоглощению изделий. Водопоглощение образцов составляет соответственно 4,6 и 7,9 %. Структура образца 15.2 характеризуется габитусом кристаллов, близким к призматическим и таблитчатым, сравнительно четкой огранки,

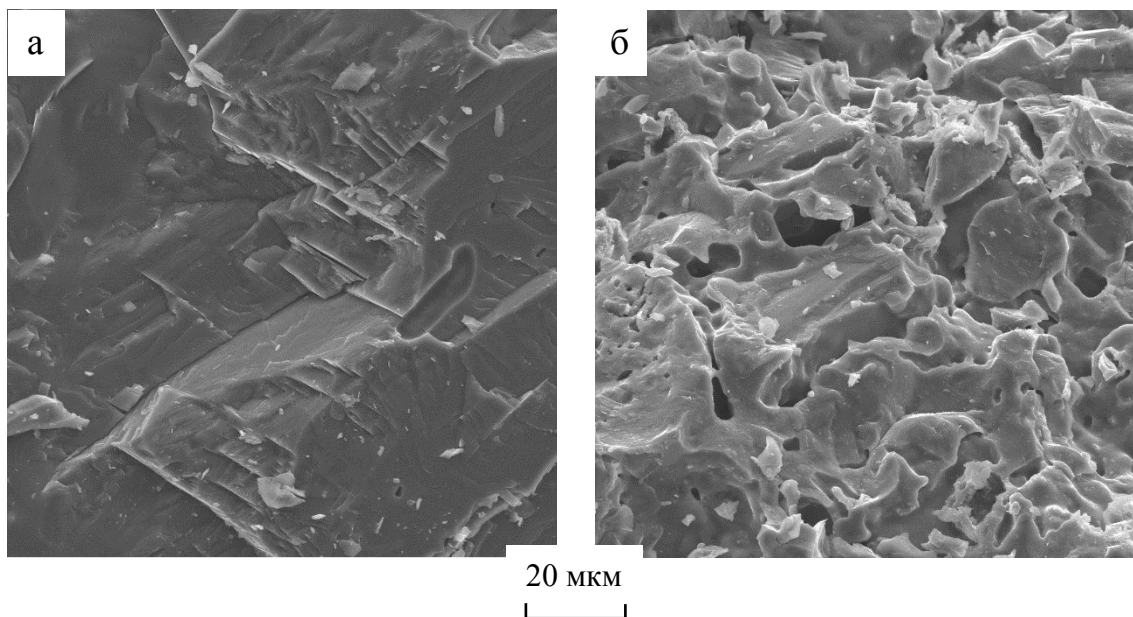


Рисунок – Электронно-микроскопические снимки скола образцов клинкерного кирпича состава: а – 5.2 и б – 15.2

ориентированных преимущественно в одном направлении. Размер крупных кристаллов достигает 200–250 мкм. Отмечаются кристаллы игольчатого габитуса, редко рассеянные с диаметром порядка 0,1–0,3 мкм.

В структуре керамического материала оптимального состава присутствуют также закрытые поры преимущественно округлые, часто вытянутые. Размер пор составляет от 10 до 30 мкм. Структура образца 5.2 характеризуется отсутствием четко выраженной огранки кристаллов. В большинстве своем это оплавленные скопления кристаллов, разделенные щелевидными вытянутыми закрытыми порами. Структура недостаточно уплотнена. Размеры образований имеют длину 20–40 мкм, ширина их составляет 10–20 мкм.

Проведенные исследования показывают особенность формирования структуры и свойств полученных образцов плотносспекшихся масс для получения клинкерного кирпича.

Установлено, что определяющим фактором формирования требуемых физико-механических свойств клинкерного кирпича в исследованной сырьевой композиции является соотношение оксидов $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{RO}(\text{CaO} + \text{MgO}) + \text{R}_2\text{O}(\text{Na}_2\text{O} + \text{R}_2\text{O}) + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$, которое находится в интервале 6,0–6,2.

Исследованием физико-механических свойств образцов клинкерного кирпича установлено их соответствие требованиям СТБ 1787-2007 «Кирпич керамический клинкерный. Технические условия».

УДК 661.1+666.3]:616.31:544

Н. М. Шалухо, ст. преп., канд. техн. наук;
Т. М. Судникович, асп. (БГТУ, г. Минск);
Г. Г. Чистякова, доц., канд. мед. наук; Г. Г. Сахар, ассист.
(БГМУ, г. Минск)

СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ХИМИЧЕСКОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ

Композиционные материалы являются основным классом реставрационных (пломбировочных) материалов в современной стоматологии и содержат три основных компонента: органическую полимерную матрицу, неорганический наполнитель и связующий агент.

Одним из основных преимуществ композиционных материалов химического отверждения в сравнении с многими другими пломбировочными материалами, является высокая прочность, которая позволяет использовать их в различных клинических ситуациях как на фронтальной, так и на жевательной группах зубов.

Целью исследования являлось изучение и сравнительная характеристика физико-механических свойств разработанного отечественного композиционного материала химического отверждения «Мигрофил ХО» с зарубежными аналогами, сертифицированными в Республике Беларусь: «Charisma PPF» (Heraeus Kulzer, Германия), «Composite» (Dental Technologies, США), Luxa Core Z Dual (DMG Германия).

Физико-механические свойства исследуемых композиционных материалов химического отверждения включали в себя: прочность на изгиб, прочность при диаметральном разрыве, водорастворимость, водопоглощение, рентгеноконтрастность. Каждый тестируемый образец композиционного материала изготавливали согласно инструкции производителя. Смешивали композит и помещали в форму из фторопласта для приготовления образца соответствующих размеров. Готовые тестируемые образцы помещали в сосуд с дистиллированной водой и в термостат с температурой $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ на 24 ч для создания условий среды, близких к полости рта, после их отверждения проводили испытание свойств.

Установлено, что новый композиционный материал химического отверждения «Мигрофил ХО» (Республика Беларусь) по своим физико-механическим показателям: прочности на изгиб и при диаметральном разрыве, водорастворимости и водопоглощению в некоторых случаях превышает, а в других сопоставим с таковыми у импортных аналогов, что позволяет рекомендовать его к широкому применению.

А. Н. Гаврилюк, доц., канд. техн. наук;
О. Б. Дормешкин, проф., д-р. техн. наук;
М. В. Титок, студ. (БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ 34%-ГО РАСТВОРА ХЛОРИСТОГО КАЛЬЦИЯ

Хлорид кальция зарегистрирован как пищевая добавка E509, и сейчас активно включается в состав продуктов питания. По классификации E509 принадлежит к группе эмульгаторов и чаще всего применяется в пищевой промышленности как отвердитель. В основном эта добавка активно используется при производстве творога, сыра и сухого молока. В последнем случае он служит для сгущения продукта, поскольку ионы кальция прекрасно связывают белки, а также для увеличения его конечного количества.

Сырьем для производства хлорида кальция служат промышленные отходы растворов хлорида кальция, получающиеся в больших количествах на содовых заводах, при производстве хлората калия и др. Дистиллерная жидкость, получающаяся в производстве соды по аммиачному способу при регенерации аммиака, содержит до 11,5% CaCl_2 и до 5% NaCl , а также небольшие количества растворенных гипса, гидроокиси кальция и аммиака в смеси со взвешенным осадком. Однако в Республике Беларусь отсутствует содовое производство. Вторым по значимости способом является обработка известняка соляной кислотой.

На сегодняшний день объемы потребления 34%-го раствора хлористого кальция только в качестве пищевой добавки E509 составляют более 5000 тонн в год при стоимости 180\$ за тонну. Данный продукт импортируется в республику. Однако с выходом на проектную мощность цеха мембранного электролиза на ОАО «Беларуськалий», производящего в качестве побочного продукта 5060 т соляной кислоты в пересчете на 100 % HCl , можно организовать производство хлористого калия путем нейтрализации соляной кислоты мелом.

Поэтому объектом представленных исследований явилась технология получения пищевой добавки E509 (34%-го хлористого кальция) на основе процессов, протекающих в многокомпонентных водно-солевых системах, образующихся в результате нейтрализации соляной кислоты мелом. Процесс получения раствора хлорида кальция из мела включает следующие технологические стадии:

- разложение мела соляной кислотой;
- фильтрацию образующейся суспензии, с целью выделения не-

разложившегося исходного сырья, нерастворимого остатка и осажденных примесей железа и алюминия, с последующей промывкой.

Основными технологическими параметрами, определяющими стадию кислотного разложения являются: норма расхода соляной кислоты, продолжительность и температура разложения, способ введения реагентов, концентрация соляной кислоты, соотношение Ж : Т. Концентрация соляной кислоты не может варьироваться в широких пределах и рассматриваться в качестве основного технологического параметра, поскольку ее численное значение выбирается в зависимости от величины конечного содержания хлорида кальция в жидкой фазе (концентрация 34 мас. %).

Норму расхода соляной кислоты варьировали в пределах 90–105% от стехиометрической. Общая продолжительность стадии разложения в отдельных экспериментах варьировали от 30 до 120 минут. Температура процесса составляла 25°С. В процессе проведения исследований основными контролируруемыми параметрами являлись: масса осадка после стадий фильтрации, промывки и сушки; масса и концентрация по CaCl_2 растворов, полученных при фильтрации и отмывке осадков. По полученным экспериментальным данным рассчитывали коэффициент разложения мела, коэффициент использования соляной кислоты и концентрация хлорида кальция в фильтрате.

На основании проведенных исследований установлено, что оптимальными условиями разложения является:

- норма расхода соляной кислоты 95% от стехиометрического количества, при которой коэффициент использования соляной кислоты максимальный;
- продолжительность процесса не менее 90 минут (30 минут разложения и 60 минут осаждения примесей) обеспечивает высокий коэффициент разложения (до 91%);
- процесс не требует повышенных температур, поэтому можно проводить при температуре окружающей среды;
- соотношение Ж : Т на стадии приготовления суспензии мела должно быть 4-5.

В соответствии с проведенными исследованиями был наработан 1 литр 34%-го раствора и отправлен в республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены», где было установлено, что опытный образец соответствует требованиям ГОСТ 450-77 «Кальций хлористый технический. Технические условия» (для кальция хлористого жидкого).

ОСОБЕННОСТИ ГРАНУЛИРОВАНИЯ СОЛЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Гранулирование неорганических материалов осуществляют, как правило, окатыванием, прессованием порошкообразных материалов или диспергированием суспензии в потоке газообразной среды. Последний используют для получения гранулированных солевых композиций, применяемых в производстве порошкообразных моющих средств. Ввиду высокой энергоемкости данного процесса разрабатываются новые подходы к получению гранулированных порошкообразных материалов. Особый интерес представляет агломерационный способ, основанный на агрегации частиц в присутствии инертного связующего (ПАВ, органические полимеры, восковые материалы) или растворов солей металлов.

В данной работе исследовано влияние природы связующего – фосфата, цитрата и ацетата натрия, образующихся при «сухой» нейтрализации кислот H_xAn в системах $Na_2CO_3 - H_xAn - H_2O$, $Na_2CO_3 - NaCl - Na_2SO_4 - H_xAn$, где $H_xAn = H_3PO_4$, $H_3(C_6H_5O_7)$, $H(C_2H_3O_2)$, на гранулометрический состав солевых композиций. В качестве связующего также использовали насыщенный раствор карбамида, жидкое стекло.

Установлено, что независимо от природы связующего с увеличением его доли в составе солевой композиции содержание гранулированной фракции (гранул с размером 0,1–2,0 мм) закономерно увеличивается. Показано, что доля гранул размером 0,1–2,0 мм повышается в ряду $Na(C_2H_3O_2) < Na_3PO_4 < Na_3(C_6H_5O_7)$. Отмечено, что при напылении на солевую композицию, полученную в системе $Na_2CO_3 - NaCl - Na_2SO_4 - H_xAn$, насыщенного раствора $(NH_2)CO$ в количестве 3,0 мас.% образуется порошкообразный продукт с содержанием гранул 0,1–2,0 мм 60% и пылевидной фракции (частицы с размером менее 0,1 мм) 40%. Введение дополнительно 10 мас.% жидкого стекла позволяет повысить долю гранулированной фракции до 94–95% и снизить содержание частиц размером менее 0,1 мм до 5–6%.

ЦВЕТНЫЕ ГЛАЗУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ БЫТОВОЙ КЕРАМИКИ, КОНТАКТИРУЮЩЕЙ С ПИЩЕВЫМИ ПРОДУКТАМИ

Исследовались цветные глазури для майоликовых изделий, полученные методом окрашивания глушеной глазури 5Н введением красящих оксидов CuO , MnO_2 , CoO и Cr_2O_3 . Красящие оксиды в количестве 1–7 мас.% вводились двумя путями: при варке фритты, а также в качестве мельничной добавки, которая вводилась при помоле фритты. Содержание красящих оксидов составляло с интервалом 2%.

Варка фритты осуществлялась в газопламенной печи при температуре 1430–1450°C. Влажность глазурной суспензии составляла 39 – 42%. Глазурные покрытия обжигались в электрической печи в интервале температур 980–1080°C с выдержкой при максимальной температуре 2 ч. Качество покрытий с повышением температуры обжига значительно улучшалось, особенно при введении CoO и MnO_2 . Глазури, в которых красящие оксиды вводились при варке, были более качественными по блеску и разливу.

Введение 3, 5 и 7 мас. % Cr_2O_3 приводило к наиболее существенному росту значений ТКЛР: от $57,3 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ для глазури 5Н до $(65–74,2) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$. Менее существенно повышалось термическое расширение при введении таких же количеств CuO : ТКЛР возрастал до $(59,2 – 61,0) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$. MnO_2 наиболее существенно снижал значения ТКЛР и они составляли $(55,2–53,1) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$. При введении этих же количеств CoO значения ТКЛР снижались до $(56,7–55,8) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$.

Исследования миграции вредных веществ проводились в соответствии с СанНиП 13–3 РБ 2014. «Требования к миграции химических веществ, выделяющихся из материалов, контактирующих с пищевыми продуктами», ГН «Предельно допустимые количества химических веществ, выделяющихся из материалов, контактирующих с пищевыми продуктами». Уровень миграции бора в 1%-ный раствор уксусной кислоты при комнатной температуре при 80°C должен составлять 0,5 мг/дм³. В водной вытяжке допускается содержание алюминия в количестве 0,5 мг/дм³.

Допустимая норма миграции цинка в 2%-ный раствор уксусной кислоты, содержащей 2% NaCl , в 3%-ный раствор молочной кислоты и 2%-ный раствор лимонной кислоты – не более 1,0 мг/дм³ для каж-

дой из модельных сред. Миграция красящих оксидов хрома, марганца и кобальта должна не превышать в водные вытяжки: не более $0,1 \text{ мг/дм}^3$; меди – не более $1,0 \text{ мг/дм}^3$.

Экспериментальные исследования показали, что для всех исследованных составов обладают высокой устойчивостью к миграции бора, алюминия и хрома в модельные среды. Миграция бора в 1%-ный раствор уксусной кислоты при комнатной температуре и в водной вытяжке не обнаружена. Также не обнаружена миграция алюминия и хрома в водной вытяжке при 80°C для всех испытуемых покрытий. Большинство цветных покрытий отвечает требованиям по миграции цинка, меди и кобальта в модельные среды.

Вместе с тем, допустимым нормам по миграции цинка ко всем исследованным средам, а также кобальта не соответствуют покрытия, содержащие по 7 мас.% Cr_2O_3 и CoO соответственно (рисунок).

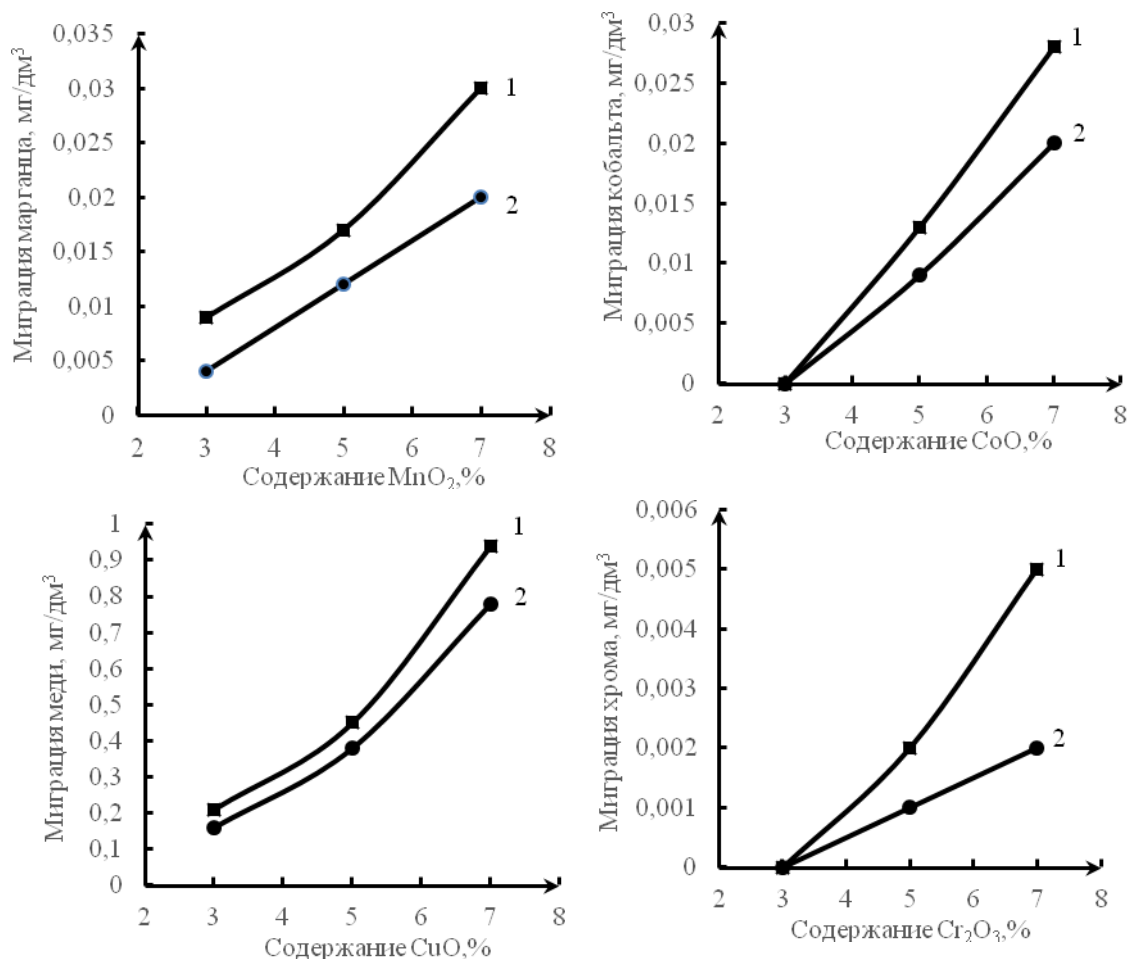


Рисунок – Зависимость миграции марганца (а), кобальта (б), меди (в) и хрома (г) от содержания соответствующих оксидов, вводимых 1 – при помеле, 2 – при варке фритт

Ю.Г. Павлюкевич, зав. каф., канд. техн. наук;
П.С. Ларионов, асп. (БГТУ, Минск)

СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ПРОПАНТЫ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Пропант – гранулообразный материал, используемый в нефтедобывающей промышленности для повышения эффективности отдачи скважин с применением технологии гидроразрыва пласта. Представляет собой сфероидальные гранулы практически одинакового размера с диаметром от 0,5 до 1,2 мм.

Пропанты должны выдерживать высокие пластовые давления и противостоять действию агрессивных сред (влага, кислые газы, солевые растворы) при высоких температурах. Их качество определяется такими свойствами как сферичность, округлость, растворимость в кислотах, насыпная плотность и сопротивление раздавливанию.

Технология гидроразрыва пласта заключается в закачке под давлением в скважину гидрогеля с пропантом, который через специальные отверстия проникает в пласт, в результате чего происходит разрыв пласта и образованию множества трещин. После окончания закачки в скважину гидрогеля пропант предотвращает смыкание образовавшихся трещин [1].

В настоящий момент пропанты производят по керамической технологии из высококачественного высокоглиноземистого, алюмосиликатного и магнезиального сырья (каолины, бокситные руды, тальк и т.д.) с длительным обжигом при температурах 1450–1550 °С. Это обуславливает их высокую стоимость. Сферичность и округлость гранул пропанта, как одно из ключевых свойств материала, обеспечивается грануляцией керамических порошков в барабанных грануляторах и распылительных сушилках, и характеризуются низкой эффективностью.

На возможность получения пропантов с улучшенными физико-химическими характеристиками указывает уровень свойств высокопрочных и химически стойких стеклокерамических материалов: прочность при изгибе 130–170 МПа; прочностью при сжатии – 730–875 МПа; микротвердость – 11500–11600 МПа; кислотостойкость – 99–99,8 %; щелочестойкость – 84–95 %. Такую стеклокерамику синтезируют в системе $R_2O-MgO-CaO-Fe_2O_3-Al_2O_3-SiO_2$ с использованием петругического сырья, представленного магматическими породами юга Беларуси: базальты, диабазы, гранодиориты и т.д. (добываются и перерабатываются РУПП «Гранит»).

Технология производства стеклокерамики включает синтез стекла заданного химического состава, формование материалов из расплава с их последующей направленной кристаллизацией для создания продуктов с заданным комплексом свойств. Технология применяется во всех случаях, когда материал или изделие можно сформовать непосредственно из расплава известными методами.

В Белорусском государственном технологическом университете на кафедре технологии стекла и керамики разработан способ получения сфероидальных частиц размером 500–2000 мкм прямым формованием из силикатных расплавов. Способ основан на диспергировании сливаемого из печи расплава с образованием капель, сферизация которых в процессе охлаждения позволяет формировать гранулы правильной геометрической формы. Процесс характеризуется высокой производительностью и качеством получаемых сфер и может быть использован для получения стеклокерамических пропантов.

На рисунке представлены снимки стеклокерамических пропантов, полученные с помощью электронного микроскопа.

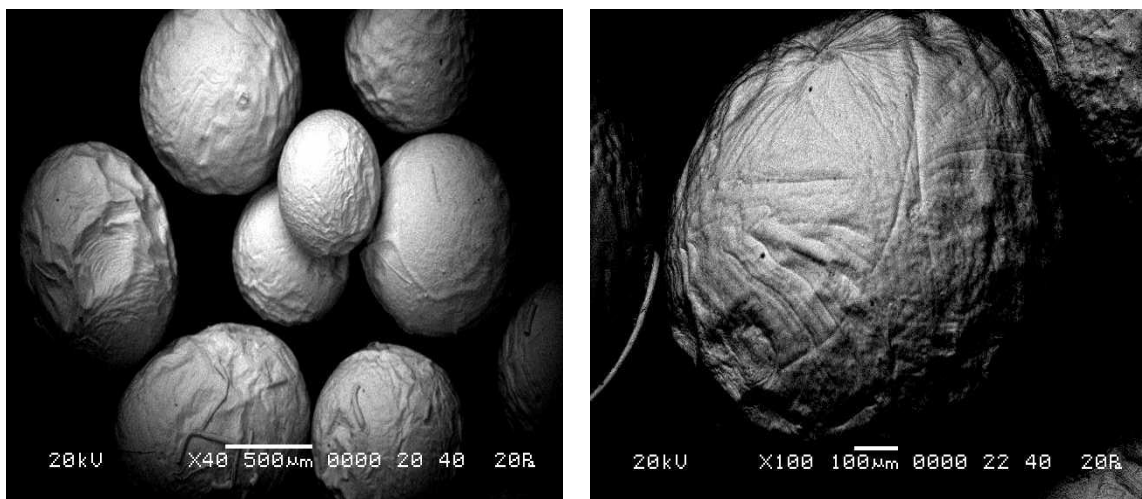


Рисунок – Электронно-микроскопические снимки стеклокерамических пропантов

Полученные указанным методом стеклокерамические пропанты по своим характеристикам (высокая сферичность, округлость, химическая устойчивость и сопротивление раздавливанию) соответствуют всем требованиям, предъявляемым к ним существующими нормативными документами.

ЛИТЕРАТУРА

1 Усачев, П.М. Гидравлический разрыв пласта / П.М. Усачев М.: Недра, 1986.

УДК 666.3:621.3.032.35

Е.Е. Трусова, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
Dr. R. Klement (A. Dubček University of Trenčín, Slovakia);
Dr. Ľ. Vača, Dr. P. Veteška, Dr. M. Janek
(Slovak University of Technology Slovakia)

АП-КОНВЕРСИОННО ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Среди разнообразных ап-конверсионно люминесцирующих неорганических стекловидных и стеклокристаллических материалов и монокристаллов, керамика на основе цирконата церия или лантана представляет практический интерес. Такие керамические материалы в настоящее время широко применяются в различных областях, благодаря своим интересным оптическим, электрическим, магнитным и каталитическим свойствам. Кроме того керамика может быть легко легирована редкоземельными ионами, такими как эрбий, иттербий, тулий и т. д. Целью данной работы является разработка новых и эффективных ап-конверсионно люминесцирующих материалов на основе цирконата лантана, которые подходят для преобразования ИК излучения в видимый диапазон.

Экспериментальные образцы керамических материалов получены с использованием золь-гель метода, который включает образование геля при использовании $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (где $\text{Ln} = \text{La}, \text{Er}, \text{Yb}$) и $\text{ZrO}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в качестве исходных реагентов. Приготовленный гель сушат, прокаливают при $800^\circ\text{C} / 4$ ч, измельчают и прессуют в виде дисков толщиной 1 мм. Полученный материал обожжен при $1100\text{--}1500^\circ\text{C} / 3$ ч. В зависимости от концентрации ионов эрбия, керамические материалы обозначены как $(\text{Er}_x\text{Yb}_{0.02})\text{LZ}$ ($x = 0.01; 0.02; 0.05; 0.10$). Рентгенограмма исследуемых керамических материалов показала образование только одной кристаллической фазы $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ (96 200 2249). Повышение температуры до 1500°C и введение ионов-активаторов не приводит к изменению фазового состава. Изучены ап-конверсионно-люминесцирующие характеристики разработанных материалов. Показано наличие интенсивной эмиссии в зелёной части спектра при $500\text{--}550$ нм обусловленной ${}^2\text{H}_{11/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$ (525 нм) и ${}^4\text{S}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$ (545 нм) переходами Er^{3+} ионов. Низкоинтенсивная полоса при $655\text{--}680$ нм отвечает ${}^4\text{F}_{9/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$ переходам Er^{3+} . С увеличением содержания ионов Er^{3+} доминирующая длина волны ап-конверсионной люминесценции керамических материалов изменяется в диапазоне эмиссии от зеленого (550 нм) до желтого (565 нм) цвета.

Т.М. Судникович, асп.;
М.И. Кузьменков, проф., д-р техн. наук;
Н.М. Шалухо, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)
И.А. Богданович, зав. каф., канд. техн. наук
(БарГУ, г. Барановичи)

СТЕКЛОИОНОМЕРНЫЙ ЦЕМЕНТ ДЛЯ ФИКСАЦИИ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Стеклоиономерные материалы находят все более широкое применение в различных областях стоматологии, что обусловлено возможностью широко варьировать их свойствами, сохраняя биологическую совместимость с тканями зуба, и при этом обладая высокой прочностью. Стеклоиономерные цементы (СИЦ) по своим свойствам находят широкое применение в стоматологии как пломбировочные, реставрационные и фиксирующие материалы. Стеклоиономерные цементы – это современные стоматологические материалы гетерогенной структуры, в которых наполнителем выступает алюмосиликатное стекло, а роль полимерной матрицы выполняет полиакриловая кислота с различной молекулярной массой.

Основными компонентами, входящими в состав СИЦ для фиксации, являются SiO_2 и Al_2O_3 , которые влияют на рабочее время, прочность и химическую стойкость. Фторид кальция придаёт СИЦ необходимую степень глушения, прочность, кариесстатические свойства и антибактериальный эффект. Фосфат алюминия повышает прочность цемента и служит стабилизатором его структуры. Оксид бария обеспечивает рентгеноконтрастность в составе СИЦ.

Важным свойством СИЦ для фиксации ортопедических конструкций является их способность обеспечивать химическую адгезию к тканям зуба. Это достигается благодаря образованию хелатных связей между карбоксильными группами полимера ($-\text{COO}-$) и ионами кальция (Ca^{2+}).

Наилучшими стоматологическими материалами для фиксации ортопедических конструкций являются «FujiI», «FujiPLUS» (Япония), «RelyXU200» (США), которые характеризуются следующими свойствами: прочность на сжатие (135 ± 15 МПа), рабочее время (2,5 мин), время окончательного отверждения (7 мин), рентгеноконтрастность ($1,45 \pm 0,05$ мм).

Целью дальнейших исследований в этом направлении является получение отечественного стоматологического цемента для фиксации ортопедических конструкций по свойствам, не уступающего зарубежным аналогам.

И.А. Левицкий, проф., д-р техн. наук;
А. Н. Шиманская, ассист., канд. техн. наук;
С.В. Лозко, студ.; М.С. Соколовская, студ. (БГТУ, г. Минск)

МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ КЕРАМОГРАНИТА

Глазури с эффектом металлизации, несмотря на свои высокие декоративно-эстетические характеристики, начали использоваться при производстве керамических плиток сравнительно недавно, поскольку современные технологии производства керамогранита предусматривают термообработку изделий в окислительной атмосфере, что затрудняет использование традиционных методов получения металлизированных покрытий.

Целью настоящего исследования является установление закономерностей синтеза глазурных покрытий для декорирования керамических плиток, которые обладают требуемыми физико-механическими свойствами и декоративно-эстетическими характеристиками, а также обеспечивают надежную антибактериальную защиту.

Сырьевые композиции для получения металлизированных глазурей включали, мас. %: серия 1 – фритта 2/154 (производственный состав ОАО «Керамин», г. Минск, Республика Беларусь) – 15,0–27,5; оксид меди (II) – 10,0–20,0; полевой шпат – 25,0–32,5 (содержание глинозема, доломитовой муки, огнеупорной глины и кварцевого песка не изменялось и в сумме составляло 35,0); серия 2 – алюмоборосиликатная фритта ОР (патент ВУ 15539) – 13,0–23,0; оксид меди (II) – 11,5–19,5; полевой шпат – 25,5–31,5 (содержание глинозема, доломитовой муки, огнеупорной глины и кварцевого песка не изменялось и в сумме составляло 40,0); серия 3 – фритта 2/154 – 20,0–30,0; оксид меди (II) – 10,0–17,5; полевой шпат – 25,0–30,0 (содержание глинозема, доломитовой муки, огнеупорной глины, кварцевого песка и оксид железа (III) не изменялось и в сумме составляло 35,0); серия 4 – базальт – 32,0–44,0; алюмоборосиликатная фритта ОР – 18,0–24,0; оксид меди (II) – 8,0–14,0 (содержание глинозема, доломитовой муки и огнеупорной глины не изменялось и в сумме составляло 30,0).

Глазурный шликер готовили совместным мокрым помолом компонентов глазурной шихты в шаровой мельнице (Speedy, Италия) до остатка на сите № 0056 в количестве 0,1–0,3 мас. % при соотношении материал : мелющие тела : вода, составляющем 1 : 1,5 : 0,5. В качестве электролита использовался триполифосфат натрия в количестве 0,25 мас. % сверх 100 %. Полученную суспензию влажностью 30–40 мас.% наносили на высушенный до влажности не более 0,5 мас.% и покрытый ангобом по-

луфабрикат керамогранита. Заглазурованные опытными составами образцы подвергали обжигу в газопламенной печи типа FMS-2500 (Sacmi, Италия) при температуре (1200 ± 5) °С в течение (50 ± 2) мин в производственных условиях ОАО «Керамин» (г. Минск, Республика Беларусь).

Физико-химические свойства синтезированных покрытий определялись согласно методикам ГОСТ 27180-2001 (таблица). Исследование антимикробных свойств глазурей проводили в лаборатории микробиологии РУП «Научно-практический центр гигиены» в соответствии с ИСО 22196:2011 в отношении штаммов бактерий *Escherichia coli* ATCC 8739 и *Staphylococcus aureus* ATCC 6538.

Таблица – Сравнительная характеристика физико-химических свойств и декоративно-эстетических характеристик синтезированных глазурей

Показатели	Значения показателей для глазурей серии			
	1	2	3	4
Цвет покрытий	Черный	Темно-серый	Серовато-черный	Серовато-черный
Фактура поверхности	Полуматовая, блестящая	Матовая	Матовая, полуматовая, блестящая	Матовая, полуматовая
Блеск, %	45–100	16–31	5–100	34–43
Микротвердость, МПа	3900–6100	5100–6800	5800–7800	5400–7100
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^{-7}, K^{-1}$	84,9–89,5	67,9–74,6	58,7–72,1	59,0–73,1
Термостойкость, °С	100–200	150–200	125–150	125–150
Степень износостойкости	1	2	1–2	2
Антибактериальная активность	2,56–2,89	0,64	2,00–2,17	–

Рентгенофазовый анализ показал, что в глазурях серии 1 диагностируются тенорит (CuO) и анортит ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$). В глазурных покрытиях серии 2 преобладающей фазой также является стекловидная, а кристаллическая представлена теноритом и маггемитом ($\gamma-Fe_2O_3$). В глазурях серии 3 идентифицируются следующие кристаллические фазы: тенорит, анортит и куприт (Cu_2O). Фазовый состав покрытий серии 4 представлен анортитом, купритом и теноритом.

В результате проведенных исследований разработаны составы биоцидных глазурных покрытий для керамогранита, благодаря чему применение керамических плиток, декорированных разработанными составами глазурных композиций, обеспечит надежную антибактериальную защиту.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛЕМАНИТА В ПРОИЗВОДСТВЕ НЕПРЕРЫВНОГО СТЕКЛОВОЛОКНА

В настоящее время основным видом непрерывного стекловолокна является электроизоляционное бесщелочное волокно типа «Е». Составы стекол для производства данного волокна включают, мас. %: SiO_2 52–56; Al_2O_3 12–16; B_2O_3 5–10; TiO_2 0–1,5; MgO 0–5; CaO 16–25; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 0–2. Снижение поверхностного натяжения стеклорасплава с введением оксида бора улучшает его способность к волоконообразованию. Однако улетучивание соединений бора в процессе варки обуславливает нестабильность химического состава и ухудшает экологию производства.

Традиционно в производстве непрерывного стекловолокна в качестве борсодержащего сырьевого материала используется борная кислота, при этом улетучивание B_2O_3 может достигать 15 %. В настоящей работе при синтезе стекла состава, мас. %: SiO_2 53,6; Al_2O_3 14,2; B_2O_3 9,0; TiO_2 0–1,5; MgO 2,7; CaO 19,9; Na_2O 0,5, использовали следующие материалы: молотый колеманит (химическая формула $2\text{CaO}\cdot 3\text{B}_2\text{O}_3\cdot 5\text{H}_2\text{O}$), поставляемые фирмой ETiMADEN (Турция), борную кислоту и борат кальция (химическая формула $\text{CaO}\cdot \text{B}_2\text{O}_3\cdot n\text{H}_2\text{O}$), поставляемые АО «Горно-химическая компания Бор» (Россия).

Для оценки улетучивания соединений бора в процессе синтеза стекол в газовой пламенной печи периодического действия использовали гравиметрический метод. Установлено, что улетучивание соединений бора при использовании колеманита в среднем на 32 % меньше, чем при использовании борной кислоты. Это связано с тем, что при использовании колеманита B_2O_3 в ходе процессов стекло- и силикатообразования преимущественно находится в связанном состоянии: колеманит \rightarrow борат кальция \rightarrow боросиликат кальция. По данным химического анализа стекол, синтезированных с использованием различных видов борсодержащих материалов в газовой печи при температуре 1500 °С, при заданном содержании B_2O_3 9 мас. % в стеклах его содержание составляет, мас. %: 8,4 (колеманит), 8,45 (борат кальция), 8,0 (борная кислота).

При анализе технологических свойств стекол типа «Е» с содержанием оксида бора 9 мас. %, синтезированных с использованием молотого колеманита и бората кальция, установлено, что преимуществом колеманита как борсодержащего сырья в производстве непрерыв-

ного электроизоляционного волокна является более интенсивное протекания процессов стеклообразования при варке стекла с использованием данного материала.

Перспективным направлением деятельности производителей волокнистых материалов является производство базальтового волокна, в частности для использования в качестве армирующего материала композитов. Вместе с тем производство базальтового непрерывного волокна требует решения ряда технологических проблем, обусловленных низкой теплопрозрачностью, повышенной вязкостью и кристаллизационной способностью расплавов горных пород.

С целью улучшения технологических свойств базальтовых расплавов и стекол проводилось модифицирование их составов при использовании в качестве модифицирующего компонента колеманита состава, мас. %: B_2O_3 39,90; CaO 26,92; SiO_2 5,28; MgO 2,79; SrO 1,32; Al_2O_3 0,15; Fe_2O_3 0,05; R_2O 0,11; SO_3 0,20. Для получения базальтовых волокон использовали андезитобазальт Подгорнянского месторождения (Украина) состава, мас. %: SiO_2 54,03; Al_2O_3 18,21; FeO+ Fe_2O_3 9,96; CaO 7,94; MgO 3,63; R_2O 4,54; K_2O 2,03; примеси 1,45. Сырьевые композиции базальт–колеманит включали 5–20 мас.ч. колеманита.

По результатам исследования вязкости установлено, что введение в состав базальтовых стекол B_2O_3 в сочетании с CaO приводит к существенному снижению высокотемпературной вязкости расплавов. Снижение вязкости расплавов и верхней температуры кристаллизации с ростом содержания оксида бора обуславливает снижение температуры выработки волокна, как следствие, уменьшение энергозатрат на процесс формования и увеличение срока службы фильерных питателей.

Для выработки непрерывного волокна создана однофильерная лабораторная установка, включающая плавильную ванну, блок управления и наматывающее устройство. По результатам вытягивания волокна из расплавов стекол на основе базальта и композиций базальт–колеманит установлено, что с ростом содержания оксида бора в составе базальтовых стекол процесс формования становится более стабильным, снижается обрывность волокна и повышается его качество. С увеличением содержания оксида бора прочность волокон возрастает, что связано, очевидно, с влиянием технологического фактора.

В результате проведенных исследований установлено конкурентное преимущество колеманита как борсодержащего сырьевого материала в производстве электроизоляционного волокна, а также перспективность его использования в производстве непрерывного базальтового волокна.

Л.С. Ещенко, проф., д-р техн. наук;
Д.М. Новик, доц., канд. техн. наук;
А.Д. Битук, студент; Н.Д. Ещенко, студ. (БГТУ, г. Минск)

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА КОНВЕРСИИ FeSO_4 В СИСТЕМЕ ЖЕЛЕЗНЫЙ КУПОРОС – CaO – O_2 – H_2O

Известные технологии переработки железного купороса $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ на пигментные материалы имеют ряд недостатков, в частности, образование большого объёма сточных вод, низкая интенсивность процесса, что служит основанием для поиска новых подходов к их получению. Ранее [1] выполнены исследования процесса получения пигмента-наполнителя путём термощелочной конверсии в системе железный купорос– CaO – O_2 – H_2O . С целью интенсификации данного процесса в работе изучено влияние механоактивации на степень конверсии FeSO_4 и состав образующихся продуктов, показано, что на стадии механической активации реакционной смеси включающей FeSO_4 , CaO , H_2O в течение 15–20 минут степень конверсии FeSO_4 достигает 81,0–85,0%. Основными фазами в образующихся и высушенных при 80–85⁰С продуктах являются $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, γ - CaSO_4 и метастабильная железосодержащая фаза, содержащая слабокристаллизованный гетит FeOOH . Термообработка данного продукта в интервале 100–250⁰С приводит к дегидратации $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и формированию кристаллической фазы гетита. При повышении температуры термообработки до 300–600⁰С происходит дегидратация FeOOH , сопровождающаяся образованием гематита α - Fe_2O_3 . Согласно данным [1], степень конверсии FeSO_4 в системе FeSO_4 – CaO – O_2 – H_2O без применения механоактивации зависит от температуры термообработки и составляет 40,0–45,0% при 250⁰С, 95,0–96,0% при 600–650⁰С. Применение механоактивации позволяет достичь степени конверсии 98,0-99,0% уже при 200–300⁰С. Полученный железокальциевый пигмент-наполнитель в системе FeSO_4 – CaO – O_2 – H_2O содержит в мас, %: α - Fe_2O_3 – 46,5-47,0; CaSO_4 – 51,5-52,0; примеси – 1,0-1,5; основную часть составляют частицы размером 5–10 мкм, их количество составляет 53,52%, которые являются, по всей вероятности, кристаллами гипса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородина К. В., Ещенко Л. С., Новик Д. М. Образование и формирование структуры α - Fe_2O_3 при термической конверсии сульфата железа (II) // Свиридовские чтения: сб ст. – Минск: БГУ, 2018. – С. 57–59.

НЕФРИТТОВАННЫЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ САНИТАРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Целью работы является синтез нефриттованной цирконийсодержащей глазури улучшенных характеристик, предназначенной для декорирования санитарных керамических изделий, получаемых однократным обжигом из полуфарфоровых масс, изготавливаемых ОАО «Керамин» (г. Минск).

Синтез нефриттованной глазури осуществлялся на основе поликомпонентной системы, включающей, мас. %: кварцевый песок марки ВС-030 Гомельского ГОКа (Беларусь) – 15,0–25,0; пегматит чупинский марки FS-700 (Россия) – 32,5–45,0, мел обогащенный марки МПС-2 (Россия) – 5,0–17,5. Постоянными компонентами исследованной системы являлись глина огнеупорная Веско-Гранитик (Украина), тальк анотский ТМК-24 (Россия), волластонит ВП-25 (Россия), каолин просяновский (Украина), количество которых составляло 30 %. Шаг варьирования переменных компонентов составил 2,0 %.

Сырьевые компоненты подвергались мокрому помолу в шаровой мельнице в течение 30 мин до остатка на сите №0056 в количестве не более 0,5 % при влажности 40–42 %. Высушенные образцы фарфоровых изделий покрывались методом полива и обжигались в промышленной туннельной печи открытого пламени при температуре 1200 °С в течение 24 ч.

Блеск и белизна покрытий определялись на фотоэлектрическом блескомере ФБ-2 с использованием в качестве эталона при определении блеска черного увиолевого стекла, белизны – баритовой пластинки. Значение белизны покрытий составляли 87–92 %, блеска – 63–75 %.

Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) синтезированных глазурей измерялся на электронном dilatометре DIL 402 PC фирмы «Netzsch» (ФРГ) в интервале температур 20–400 °С при постоянной скорости нагрева образцов в печи, составляющей 5 °С/мин (ГОСТ 27180–86). ТКЛР синтезированных покрытий находилась в интервале значений $(58,6–67,6) \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$.

Микротвердость глазурей определялась на приборе ПТМ-3М (ЛЮМО, Россия) при нагрузке на индентор 100 г. Микротвердость покрытий составляла 4600–5740 МПа. Изделия обладали требуемой химической и термической устойчивостью.

Рентгенограммы синтезированных материалов снимались на

рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE фирмы «Bruker» (Германия). Для идентификации кристаллических фаз использовалась международная картотека Joint Comite on Powder Diffraction Standards. Установлено, что достаточная степень глушения обусловлена присутствием циркона ($ZrSiO_4$), а также анортита ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$).

Дифференциальной сканирующей колориметрией с помощью прибора DSC 404F3 Pegasus фирмы «NETZSCH» (Германия) в интервале температур 20–1200 °С установлено наличие следующих термических процессов. При 493 и 494 °С происходит удаление молекулярной воды из глинистых минералов, что обусловлено эндоэффектом. С повышением температуры при 572–574 °С эндоэффект обусловлен разложением каолинита. Глубокий эндотермический эффект при 741–765 °С вызван декарбонизацией мела ($CaCO_3$). При 932–937 °С экзотермический эффект связан с кристаллизацией анортита. Эндоэффект при 1158–1166 °С вызван плавлением составляющих глазурной композиции.

Микроструктура покрытий исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM–5610 LV (Япония). Изображения получены с реальной поверхности скола образца при увеличении в 100–1000 раз.

Электронно-микроскопическими исследованиями покрытия подтверждено наличие развитой мелкокристаллической структуры с максимальными размерами зерен 6–8 мкм преимущественно неизометрической формы.

Следует отметить, что по сравнению с ранее изученными нами глазурными покрытиями всех систем в данном случае наблюдается более равномерное распределение кристаллов на поверхности, что и способствует обеспечению высокой степени заглушенности и блеска покрытий.

Разработанное покрытие по сравнению с производственным обладает более высокими показателями: белизна повышена на 3–5 %, блеск – на 2–6 %, увеличены показатели термостойкости и химической устойчивости.

Сравнение декоративно-эстетических характеристик и физико-химических свойств разработанных покрытий и производственного аналога показало, что по значениям показателя белизны, термостойкости и химической устойчивости разработанная глазурь не отличается, а по блеску и микротвердости превосходит производственную, выгодно отличаясь от них отсутствием в шихтовых композициях высокоопасных компонентов (углекислый барий, цинковые белила).

УДК 66.091:549.6:546.33

Н. М. Шалухо, ст. преп., канд. техн. наук;
М. И. Кузьменков, проф., д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск);
Ю. В. Велюго, директор (ЧПУП «БелХимос», г. Лепель)

ПОЛУЧЕНИЕ ЖИДКИХ СТЕКОЛ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМ СПОСОБОМ

Жидкие стекла (натриевые и калиевые) производятся в различных отраслях промышленности (химической, целлюлозно-бумажной, литейной и др.) и применяются для самых разнообразных целей: производство штучных огнеупорных материалов, жаростойких бетонов, для проклейки картона, для изготовления литейных форм, в составе сухих строительных смесей, флотореагентов, в синтетических моющих средствах, в составе буровых растворов и др. Достойной альтернативы жидким стеклам в указанных областях нет, и не предвидится. Несмотря на многолетний опыт производства и применения жидких стекол с технической и технологической точки зрения этот процесс не является совершенным.

В настоящее время получают жидкие стекла в основном двумя способами. Первый способ заключается в предварительном получении силикат-глыбы путем плавления двухкомпонентных шихт при температурах 1350–1400°C в стекловаренных печах с последующим растворением силикат-глыбы во вращающихся автоклавах при температуре 120–130°C. Этот способ наиболее распространен, но и самый энергоемкий. Кроме того, за счет присутствия полуторных оксидов в кварцевом песке происходит образование в стекле нерастворимых кластеров, которые после автоклавирования отделяются и отправляются в отвал, что составляет примерно 5%. Второй способ заключается в растворении кремнезема в каустической соде натриевой или калиевой, но он не распространен из-за высокой стоимости каустической соды и дефицитности аморфного кремнезема.

Для повышения конкурентоспособности продукции отечественных предприятий, производящих жидкие стекла, например, ОАО «Домановский ПТК», актуальным является снижение энергозатрат на его производство. По данным указанного предприятия на тонну силикат-глыбы расход составляет в настоящее время 280–300 кг условного топлива. Поэтому целью исследования явилась разработка низкотемпературного (малоэнергоемкого) процесса получения растворимых натриевых и калиевых стекол при температуре не выше 950°C. Этот способ исключает автоклавное растворение силикат-глыбы, что позволит снизить энергоемкость производства примерно в 1,5–2 раза.

В качестве кремнеземсодержащего компонента использовали кварцевый песок для стекольной промышленности (содержание SiO_2 не менее 96%), в качестве карбонатного сырья – кальцинированную соду. Смешивали рассчитанное количество компонентов и добавляли воду для придания тесту такой консистенции, чтобы можно было скатать гранулы. Готовые гранулы подвергали обжигу в электрической печи при температурах 800–950°C со скоростью нагрева 5°C/мин и выдержке при максимальной температуре в течение 60 мин. Продукты обжига измельчали и подвергали растворению на водяной бане при $T = 85^\circ\text{C}$ и непрерывном перемешивании в течение 30–60 мин при $V/T = 3:1$. Количество не растворившегося осадка определялось весовым способом, после его фильтрации и высушивания. Экспериментально установлено, что при одинаковом силикатном модуле, V/T отношении и времени растворения, количество нерастворившегося осадка уменьшается с увеличением температуры.

Для оценки влияния времени выдержки гранул при обжиге с $n = 1$ на растворение осуществляли нагрев при $T = 900^\circ\text{C}$ с выдержкой при максимальной температуре 60, 40 и 20 мин. Количество нерастворившегося осадка определялось весовым способом после его фильтрации и высушивания (рисунок).



Рисунок – Влияние времени выдержки при $T = 900^\circ\text{C}$ на количество нерастворившегося осадка

Количество осадка увеличивается при снижении времени выдержки при максимальной температуре. При уменьшении времени выдержки при обжиге наблюдалось снижение плотности жидкого стекла. Таким образом, установлены технологические параметры получения жидких стекол низкотемпературным способом, которые, в зависимости от плотности, могут использоваться для пропитки деревянных изделий и тканей с целью придания им большей плотности и огнестойкости, для грунтования бетонных, кирпичных, оштукатуренных деревянных поверхностей, гидроизоляции емкостей и бассейнов.

М.В. Дяденко, доц., канд. техн. наук;
Л.Ф. Папко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
Д.А. Крайнова, мл. научн. сотр.; Н.С. Саетова, мл. научн. сотр.
(ИВТЭ УрО РАН, г. Екатеринбург)

СТЕКЛА ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

При изготовлении твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) необходимо обеспечить прочное и герметичное соединение единичных элементов в батарею. Для этих целей используют высокотемпературные герметики, чаще всего стекла и стеклокристаллические материалы, которые способны выдерживать рабочие температуры до 900 °С.

Целью данной работы является изучение теплофизических свойств стекол, предназначенных для склейки и герметизации ТОТЭ.

Стекла синтезированы в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$ при содержании компонентов, мол. %: SiO_2 50–60; Al_2O_3 5–15; MgO 15–25. Такие компоненты, как Al_2O_3 , B_2O_3 , TiO_2 , вводились в качестве постоянных добавок.

Согласно данным ДСК температура стеклования (T_g) опытных стекол составила 622–644 °С, температура кристаллизации (T_c) 750–835 °С, при этом с уменьшением разницы температур ($T_c - T_g$) устойчивость стеклообразного состояния снижается. На температурных зависимостях удельной теплоемкости стекол отмечается резкий рост показателей при температурах 580–600 °С, т.е. в области температур стеклования.

По данным вискозиметрии в интервале температур от 680 °С до 800–850 °С вязкость исследуемых стекол снижается от 10^9 Па·с до 10^5-10^6 Па·с. Кристаллизация стекла сопровождается выраженным ростом показателей вязкости при температурах свыше 830–850 °С.

ТКЛР опытных стекол изменяется в пределах $(69-77) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$, при этом определяющее влияние на термическое расширение оказывает соотношение $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$.

В результате кристаллизации в процессе формирования склеек при температуре 1100 °С показатели ТКЛР герметиков возрастают до $(94-100) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$, что обеспечивает их согласование по термическим свойствам с материалами ТОТЭ – керамикой на основе оксида циркония, стабилизированного иттрием, и металлического интерконнектора.

О. А. Сергиевич, ассист., канд. техн. наук;
Е. М. Дятлова, доц., канд. техн. наук;
И. А. Алексеенко, магистрант (БГТУ, г. Минск)

ИЗНОСОСТОЙКИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ С САМОГЛАЗУРУЮЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Перспективность и актуальность износостойкой керамики обусловлена исключительным многообразием ее свойств по сравнению с другими типами материалов. Особый интерес представляет износостойкая керамика, изделия из которой работают в условиях длительных истирающих нагрузок. Нередко износостойкие детали работают при высоких температурах, резких перепадах температуры и других осложняющих факторах. В качестве примера использования износостойкой керамики можно привести нитеводители в производстве волокон.

Разработаны опытные образцы износостойких керамических материалов со следующими показателями физико-химических свойств: водопоглощение – не более 2 %, ТКЛР – $(4-6) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, прочность при сжатии – свыше 100 МПа, микротвердость – 9000–11000 МПа, коэффициент трения – 0,2–0,3, среднее отклонение профиля поверхности – 3,2 нм. Проведена оптимизация синтезированных материалов с учетом количества и типа модифицирующей добавки, изучены их физико-химические и трибологические характеристики, установлена взаимосвязь между показателями свойств, фазовым составом и температурой обжига. Отработаны технологические параметры изготовления износостойких изделий, в т.ч. и самоглазурующихся, включающая шликерную подготовку массы, получение пресс-порошка и литейного шликера на водной и термопластической связке, полусухое прессование, литье в пористые гипсовые и холодные металлические формы, сушку и обжиг по оптимизированным температурно-временным параметрам. Изготовлены опытные образцы износостойких изделий в условиях ЧУП «АЗИД» и разработан проект технологического регламента производства износостойких керамических деталей с пониженным коэффициентом трения.

Разработанные материалы могут использоваться предприятиями легкой и машиностроительной отраслей в качестве нитеводителей для волокна, фильер для протяжки различных нитей из расплава, стальной и алюминиевой проволоки, фрикционных колец, дисков и т.д.

ФУТЕРОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Огнеупорные и тугоплавкие изделия широко используются в машиностроительной, металлургической, стекольной, химической и других отраслях промышленности. Основным их назначением является защита менее стойких элементов конструкции от воздействия высоких температур, горячих газов, расплавов и т.п., создание необходимых условий для обеспечения синтеза продукции. Увеличение срока службы тепловых агрегатов, сокращение времени их ремонта и обслуживания являются актуальными. Достигнуть этого возможно при улучшении эксплуатационных характеристик футеровочных материалов, а также защиты их поверхности специальными покрытиями.

В настоящей работе осуществлены исследования, направленные на достижение результатов в данном направлении. Синтезированы материалы для футеровки обжиговых вагонеток на основе следующих компонентов: глина огнеупорная месторождения «Боровичи» (Россия), глина тугоплавкая месторождения «Городное» (РБ) и алюмосиликатный шамот марки ШБ. В качестве связки применялась ортофосфорная кислота (H_3PO_4). Полученные образцы обжигались в интервале температур 1000–1200 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч. Качественный фазовый состав обожженных при 1200 °С образцов представлен в основном кварцем ($\alpha-SiO_2$), муллитом ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), анортитом ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$). Установлено, что наибольшая прочность (57,7–60,5 МПа) при минимальной пористости (13,5–15,3 %) достигнута при введении магнийсодержащей добавки ввиду образования магнийфосфатов, которые обеспечивают повышение степени спекания при меньшей, чем у алюмофосфатов температуре.

В процессе исследования разработаны защитно-упрочняющие составы покрытий по футеровке, определены параметры синтеза, обеспечивающие формирование защитных покрытий с необходимым набором эксплуатационных характеристик. Исследовано влияние различных наполнителей и связующих на физико-технические свойства покрытий. Отмечается, что отходов производства глазури ОАО «Керамин» в состав которых входит ZrO_2 , повышают эксплуатационные характеристики покрытий. На основании исследований, разработан состав защитно-упрочняющих покрытий для футеровки тепловых агрегатов, включающий в себя следующие сырьевые компоненты: алюминиевая пудра, гли-

на «Лукомль-1», каолин, электрокорунд, кварцевый песок, кремнефтористый натрий, отход производства глазури, оксид железа (III).

Предварительно подготовленные сырьевые компоненты дозировали согласно рецептуре и тщательно перемешивали в сухом виде в шаровой мельнице в течение 15–20 мин. В подготовленную и усредненную массу добавляли связующее, в качестве которого выступало жидкое стекло, затем вводилась вода. Перемешивание осуществлялось с помощью промышленного миксера до получения однородной суспензии с влажностью 35–40 %. Приготовленную суспензию с помощью кисти или пульверизатора наносили на предварительно очищенную и увлажненную поверхность алюмосиликатного огнеупора. Толщина нанесенного покрытия составляла 1–2 мм. После сушки в естественных условиях, осуществляли обжиг покрытия, который проводился в соответствии с режимом выведения теплового агрегата на рабочую температуру.

Покрытия оптимального состава, полученные по технологии СВС и дополнительно обожженные при температуре 1150 °С, характеризовались следующим набором физико-технических свойств: водопоглощение – 12,0 %; открытая пористость – 23,0 %; кажущаяся плотность – 1890 кг/м³; твердость по шкале Мооса 8; теплопроводность (Т=200 °С) – 0,400–0,548 Вт/м·К. Температурный коэффициент линейного расширения покрытий составлял $(2,3–4) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, что согласуется с ТКЛР шамотных алюмосиликатных огнеупоров.

Суспензию готовили по вышеописанной технологии и наносили на очищенную и слабоувлажненную поверхность алюмосиликатного блока печных вагонеток размером 400×400 мм туннельной печи фирмы «Sacti», используемой при производстве керамического кирпича на ОАО «Керамин». Толщина наносимого слоя покрытия составляла 1,2–1,5 мм. Покрытие, нанесенное на алюмосиликатный блок печной вагонетки, выдержало более 15 теплосмен без видимых внешних дефектов и потери своих эксплуатационных характеристик, и продолжает дальнейшую работу в условиях термоциклирования в туннельной печи в интервале температур 40–1050 °С. Также в условиях ОАО «Керамин» были проведены испытания разработанных покрытий на износостойкость согласно ГОСТ 27180 при нагружении шлифовального диска под давлением 0,06 МПа с помощью абразивного материала, в качестве которого выступал кварцевый песок. Полученные результаты свидетельствуют о том, что указанная характеристика находится в пределах 0,12 – 0,15 г/см².

В.Н. Яглов, проф., д-р. хим. наук;
 А.А. Меженцев, доц., канд. техн. наук;
 Г.А. Бурак, доц., канд. техн. наук; Н.А. Кречко, ст. преп.
 (БНТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

При получении силикатного кирпича используют известково-гранитное вяжущее. Проведенное исследование показало, что в качестве вяжущего при получении силикатного кирпича может быть использовано известково-гранитное вяжущее, полученное смешением извести и гранитного отсева (фракция < 0,16 мм).

Таблица – Состав и свойства прессованного известково-гранитного вяжущего, полученного после пропаривания при 95°С в течение 6 часов (влажность при прессовании 7%)

группа	Состав вяжущего, %		Давление прессования, т	Плотность ρ , г/см ³	$R_{сж.}$, кг/см ²
	СаО	гранитный отсев			
I	6	94	5	2,145	100
	6	94	10	2,12	160
	6	94	15	2,22	200
	6	94	20	2,27	240
	6	94	25	2,26	270
	6	94	30	2,42	320
II	8	92	5	1,99	200
	8	92	10	2,09	270
	8	92	15	2,11	400
	8	92	20	2,25	500
	8	92	25	2,26	520
	8	92	30	2,32	530
III	10	90	5	1,97	185
	10	90	10	2,2	260
	10	90	15	2,17	390
	10	90	20	2,33	415
	10	90	25	2,31	445
	10	90	30	2,32	460

Как следует из приведенных табличных данных использование в составе известково-гранитного вяжущего извести более 8 % не вносит существенных изменений в прочностные характеристики полученного материала, что связано, по-видимому, с появлением в материале не связанной извести, что подтверждено экспериментальными данными.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ ДЛЯ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Многие промышленные предприятия для производственных процессов использует воду, содержащую минимальные количества солей (или глубоко обессоленную), т. е. степень очистки воды влияет на ряд технологических параметров любого производства.

Вода, поступающая из сетей централизованного водоснабжения, содержит минеральные ионы в виде солей. Для уменьшения их количества применяют технологию обессоливания. Существуют несколько способов обессоливания: термический, ионообменный, мембранный, комбинированный. Наиболее часто обессоливание воды проводят методом ионного обмена или сочетанием с мембранным методом [1].

Наиболее практическое значение для очистки сточных вод и обессоливания воды имеют органические искусственные ионообменные смолы [2]. Они прочные и высокоемкие, легко регенерируются и снова вступают в работу.

Качество воды в водоподготовке необходимо контролировать до и после очистки на ионообменных смолах, чтобы проследить эффективность работы ионитов и вовремя вывести их на регенерацию.

В настоящее время происходит массовый переход водоподготовки предприятий с прямоточной регенерации на противоточную. Применение противоточной регенерации позволяет эффективно использовать обменную емкость, снизить расходы реагентов.

Цель данной работы заключалась в исследовании сорбционной способности современных смол Т-100 (Н-форма)-катионит и Т-800 (ОН-форма)-анионит для водоподготовительных установок в зависимости от концентрации растворов.

Экспериментальная часть: через два фильтра (фирма «Аквафор»), заполненные катионитом и анионитом, пропускали растворы: нитрата меди (II) (Т-100) и сульфата натрия (Т-800) с разной концентрацией. На выходе после фильтрования определяли содержание ионов меди (II) и сульфат-ионов титриметрическим методом (результаты исследований представлены на рисунках 1, 2).

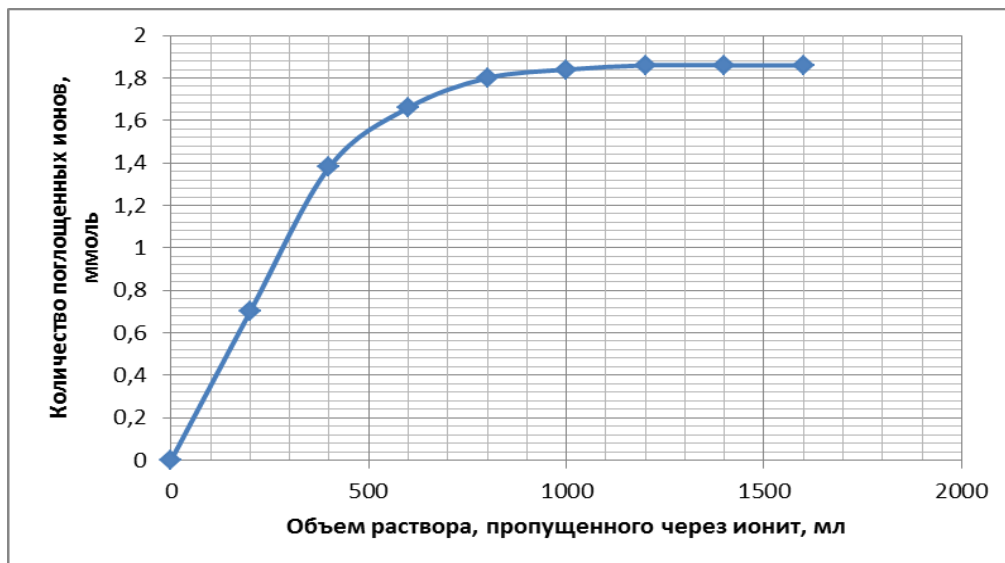


Рисунок 1 – Динамика поглощения ионов меди (II) катионитом

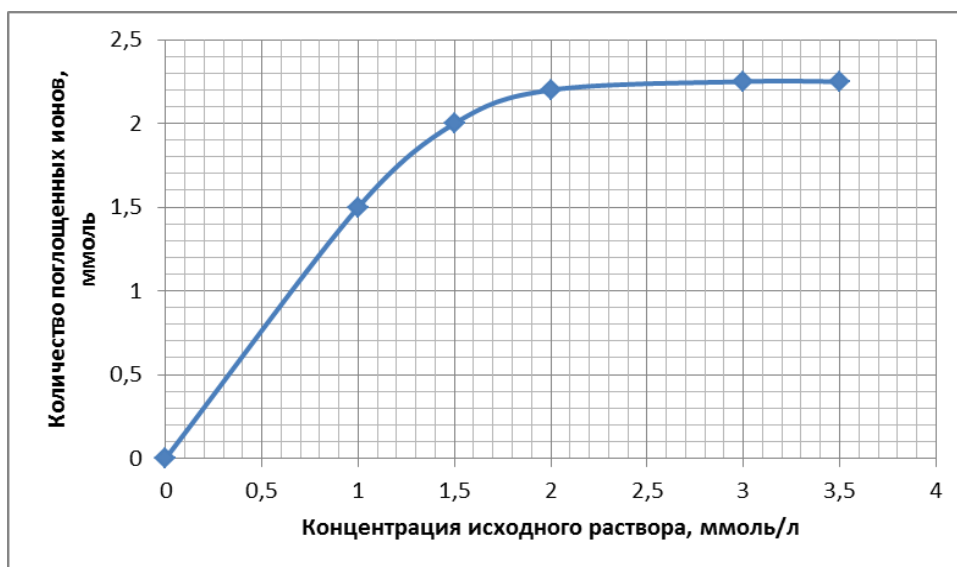


Рисунок 2 – Зависимость количества поглощенных ионитом сульфат-ионов от концентрации раствора сульфата натрия

Выявлено, что при прохождении воды через катионит Т-100 (Н-форма) и анионит Т-800 (ОН-форма) последовательно, достигается полная сорбция ионов солей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков, А. В. Улучшение качества природных и очистка сточных вод: учебное пособие. Ч.1 / А. В. Новиков. Т.:ТГТУ, 2016.
2. Аширов, А. Ионнообменная очистка сточных вод, растворов и газов / А. Аширов. Спб.: Химия, 2006.

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОБАВОК КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ

Особая роль в новых конструктивных системах гражданского и промышленного строительства отводится изделиям из ячеистого бетона, обладающим существенными преимуществами перед другими строительными материалами. Одним из наиболее перспективных и эффективных направлений химизации в современном строительстве является широкое использование различных органических и неорганических веществ в качестве добавок к бетону. Вводимые в десятых и сотых долях процента от массы вяжущих, они существенно влияют на химические и физико-химические процессы при твердении бетона.

Целью работы являлось исследование влияния органических добавок на основе натриевых и калиевых солей поликарбоксилатного лигнина, а также добавки-отхода Белорусского металлургического завода, на реологические свойства ячеистобетонных смесей и физико-механические свойства бетона. Используемые в работе анионные поверхностно-активные вещества получены путем окисления гидролизного лигнина и отличаются плотностью отрицательного заряда и молекулярной массой. Определены оптимальные дозировки и наиболее рациональные способы ввода добавок в составы сырьевых смесей.

Добавки, вводимые на стадии помола известково-песчаного вяжущего, обеспечили повышение его удельной поверхности на 300–500 см²/г в зависимости от их вида и дозировки. Установлено, что при оптимальных дозировках добавок, составляющих 300–400 г/т вяжущих компонентов, растекаемость смесей по Суттарду составила 32–36 см при водотвердом отношении 0,65. Применение органических добавок в исследуемой системе позволяет снизить расход алюминиевой пудры в составе ячеистобетонных смесей на 8–10% по сравнению с контрольными составами за счет интенсификации процесса газовыделения. Установлено, что с помощью добавки-отхода БМЗ с дозировкой 1% от массы сухих компонентов, можно ускорить темп набора пластической прочности.

Получены составы ячеистого бетона автоклавного твердения с улучшенными физико-механическими свойствами. Осуществлен выпуск опытной партии ячеистого бетона разработанных составов в ЗАО «Могилевский КСИ».

В.Н. Яглов, проф., д-р. хим. наук;
 А.А. Меженцев, доц., канд. техн. наук;
 Г.А. Бурак, доц., канд. техн. наук;
 Ю.В. Шагойко, ассистент
 (БНТУ, г. Минск)

СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ГРАНИТНЫХ ОТСЕВОВ

Так как гранитные отсевы обладают пуццолановой активностью, была изучена возможность получения композита в системе цемент – гранитные отсевы с максимально возможным содержанием гранитных отсевов путем прессования образцов при различных давлениях.

Составы и свойства прессованных композиционных материалов после пропаривания приведены в таблице 1, а после твердения над водой в таблице 2.

Таблица 1 – Состав и свойства прессованных композитов после пропаривания при 95°С в течение 6 часов, влажность при прессовании 7%

группа	Состав вяжущего, %		Усилие прессования, т	Плотность ρ , г/см ³	Водопоглощение, %	$R_{сж.}$, кг/см ²
	ПЦ500ДО	гранитный отсев				
I	10	90	5	2,10	13,7	200
	10	90	10	2,18	12,2	240
	10	90	15	2,27	10,3	320
	10	90	20	2,28	9,7	405
	10	90	25	2,31	9,0	460
	10	90	30	2,40	8,1	520
II	20	80	5	2,20	10,4	205
	20	80	10	2,25	8,2	250
	20	80	15	2,27	7,0	330
	20	80	20	2,39	6,5	600
	20	80	25	2,42	6,3	650
	20	80	30	2,48	6,0	720

Таблица 2 – Состав и свойства прессованных композитов после твердения над водой

Гран. отсев	Состав композита, %			Усилие прессования, т	Время твердения, сутки			
	Фосфогипс	ПЦ500ДО	Н ₂ O		7	14	28	62
					$R_{сж.}$, кг/см ²			
72	14	7	7	20	285	300	355	450

Давление прессования оказывает существенное влияние на прочностные характеристики изделий, подвергнутых пропариванию для ускорения набора прочности.

АНГОВНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ РЕЛЬЕФНОЙ СТОРОНЫ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛИТОК

Целью исследования является получение ангобных покрытий, наносимых на рельефную (тыльную) сторону керамических плиток. Ангобирование тыльной стороны плиток предназначено для защиты керамических роликов печи от загрязнения массой во время ее обжига, продлевая тем самым срок их эксплуатации.

Температурный режим обработки составляет 1200 ± 5 °С в течение 48–50 мин.

В качестве базовых систем для выбора оптимального состава ангобных покрытий при проведении исследований использовались две композиции.

Композиция 1 включала, мас. %: периклазовый (магнезитовый) порошок – 33–72; глинозем марки NO-105 – 22–32; каолин КН-83 – 1–33; глина Веско-Керамик – 1–6.

Композиция 2 содержала, мас. %: отработанные гипсовые формы после литья санитарных керамических изделий – 60–80, глина Веско-Гранитик – 15–25, глинозем марки NO-105 – 5–15. Шаг варьирования компонентов в обеих композициях составил 2 %.

В обеих композициях для обеспечения реологических характеристик и улучшения адгезии к керамической плитке применялись триполифосфат натрия и карбоксилметилцеллюлоза, вводимые в количестве по 0,3–0,5 мас. % (сверх 100% составляющих). Помол компонентов велся до остатка на сетке №0063 в количестве 1,2–1,5 % в шаровых мельницах мокрого помола. Рабочая плотность наносимой ангобной суспензии составляла 1240–1300 кг/м³.

Ангоб наносился на рельефную сторону плиток толщиной 0,1–0,2 мм и в процессе обжига обеспечивал гладкую ровную матовую поверхность на рельефных участках плитки, предотвращая прилипание их к керамическим роликам.

Рентгенофазовым анализом, выполненным на установке D8 ADVANCE фирмы «Bruker» (Германия), образцов покрытия, прошедшего обжиг при указанных выше режимах, установлено наличие ряда кристаллических фаз. Так композиция 1 содержит периклаз (MgO), муллит ($2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), корунд ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$). В композиции 2 обнаружены ангидрид (CaSO_4) и корунд ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$).

Дифференциальной сканирующей колориметрией с помощью прибора DSC 404F3 Pegasus фирмы «NETZSCH» (Германия) в интервале температур 20–1200 °С установлено наличие следующих термических процессов. В композиции 1 наблюдаются эндотермические эффекты при температурах 70–75 и 145–156 °С, связанные с удалением молекулярной воды, далее при 550–580 °С эндоэффект обусловлен удалением химически связанной воды. Разложение магнезита обусловлено глубоким эндоэффектом при 580–650 °С с образованием периклаза. Экзотермический эффект небольшой интенсивности отмечается при 930–1000 °С, вызванный кристаллизацией муллита.

Для композиции 2 кроме эндоэффектов при 70–75 и 140–155 °С, обусловленных удалением молекулярной воды, имеется эндоэффект при 170–180 °С, вызванный дегидратацией двухводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) до полугидрата ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). При 220–230 °С эндоэффект вызван полным обезвоживанием полугидрата. Экзоэффект при 360–370 °С связан с перестройкой структуры и образованием нерастворимого ангидрита. При 1150–1200 °С эндоэффект обусловлен его обратным полиморфным превращением.

Применение ангобного покрытия композиции 2 обеспечило снижение его себестоимости и утилизацию отработанных гипсовых форм.

УДК 666.974:661.25

Т. В. Булай, ст. преп. (ГрГУ им.Я.Купалы, г. Гродно);

М. И. Кузьменков, проф., д-р техн. наук;

Н. М. Шалухо, ст. преп., канд. техн. наук;

Д. М. Кузьменков, ст. науч. сотр., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ СЕРНОГО БЕТОНА

Серный бетон – это композитный, современный, искусственный камневидный материал, в основу которого входят инертные заполнители и наполнители, выполняющие функции структурного каркаса, и вяжущее – сера. Одним из преимуществ этих бетонов является отсутствие воды в технологическом процессе их изготовления, они гидрофобны и абсолютно не впитывают воду.

С целью подтверждения вышеуказанных положительных свойств были проведены испытания по определению водопоглощения серного бетона. Водопоглощение определялось испытанием образцов различных составов в зависимости от крупности заполнителя и процентного содержания серы.

Готовые образцы помещались в емкость, наполненную водой с таким расчетом, чтобы уровень воды в емкости был выше верхнего уровня уложенных образцов примерно на 50 мм. Температура воды в емкости составляла (20 ± 2) °С. Образцы взвешивались на обычных весах с погрешностью не более 0,1%. При этом, вынутые из воды образцы, предварительно вытирались отжатой влажной тканью. Масса воды, вытекшей из пор образца на чашку весов, включена в массу насыщенного образца. Результаты испытаний приведены в таблице.

Таблица – Водопоглощение образцов серного бетона

Размер частиц песка, мм	Масса образцов, г					
	Первоначальная масса	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут	6 меся- цев
5,0	19,36	19,36	19,34	19,37	19,40	19,37
2,5	19,27	19,27	19,29	19,33	19,33	19,30
1,25	19,29	19,29	19,26	19,27	19,28	19,29
0,63	20,03	20,03	20,01	20,00	20,00	20,01
0,315	19,69	19,64	19,64	19,64	19,64	19,66
0,14	19,00	19,00	18,98	19,00	19,00	19,01

Из результатов, приведенных в таблице, можно сделать вывод, что серный бетон обладает очень низким водопоглощением. Это объясняется тем, что сера при нагревании переходит в вязко-текучее состояние, при смешивании с наполнителем и при застывании происходит кристаллизация серы на поверхности заполнителя, молекулы серы заполняют все внутреннее пространство получаемого вещества и пористость становится практически незаметной.

УДК 66.01; 66.03

А.Б. Татеева, доц., канд. хим. наук;
 М.И. Байкенов, проф., д-р хим. наук;
 А.А. Муратбекова, доц., канд. хим. наук
 (КарГУ имени Е.А. Букетова, Караганда);
 Б.З. Кокжалова, доц., канд. хим. наук
 (Карагандинский государственный медицинский университет)

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОДОВ И ИГОЛЬЧАТОГО КОКСА

В настоящее время ни один из видов кокса (изотропный, игольчатый) в Республике Казахстан не выпускается, а научные разработки в этой области практически отсутствуют. При этом потребность в угле-

родном сырье высока и составляет: изотропные коксы 6–10 тыс. т/год; мезофазные порошки 1–2 тыс. т/год; игольчатый кокс 100-150 тыс. т/год; мезофазные пеки для производства углеродного волокна 1–2 тыс. т/год; синтетические пеки в качестве связующего и пропиточного пека 6–10 тыс. т/год.

Часть сырья импортируется из-за рубежа, что снижает конкурентоспособность отечественных производителей, но большая часть УМ в настоящее время в Республике Казахстан не производится, и это снижает обороноспособность нашей страны.

В связи с тем, что для получения всех основных видов сырья УМ может успешно использоваться каменноугольное сырье.

Создание отечественной сырьевой базы для производства электродов на сегодня является одним из приоритетных направлений в Республике Казахстан, поскольку весь малосернистый кокс с содержанием серы до 1% и игольчатый кокс, который используется в электродной отрасли, полностью закупается по импорту.

Объектом исследований являются спецкокс товарных марок 0-10, 10-25, 25-40, 0-60, 10-60, 0-25 мм, производимых на АО «Шубарколь комир». Температура коксования 750-780°C.

Физико-химические свойства кокса определяются его структурой, приближающейся к гексагональной слоистой структуре графита. Структура кокса характеризуется неполной упорядоченностью: отдельные фрагменты (слои), связанные Ван-дер-Ваальсовыми силами, статистически занимают несколько возможных положений (например, накладываются один на другой). Наряду с атомами углерода в пространственной решетке кокса, особенно в её периферийной части, могут располагаться гетероатомы (S, N, O).

Строение и свойства кокса зависят от состава угольной шихты, конечной температуры и скорости нагрева коксуемой массы. С увеличением содержания в шихте газовых и других углей, характеризующихся малой степенью метаморфизма, понижением конечной температуры коксования и уменьшением выдержки при этой температуре, реакционная способность и горючесть получаемого кокса возрастает. При увеличении содержания газовых углей в шихте прочность и средняя крупность кусков кокса уменьшаются, а пористость его возрастает. Повышение конечной температуры коксования способствует увеличению прочности кокса, особенно к истиранию. При удлинении периода коксования и снижения скорости нагрева коксуемой массы средняя крупность кусков кокса увеличивается.

Качество кокса – один из решающих факторов, определяющих технико-экономические показатели доменной плавки; оно зависит от

прочности, пористости и химического состава кокса. В таблице 1 даны физико-химические параметры проб Шубаркольского кокса по классам крупности.

Таблица – Физико-химические параметры проб Шубаркольского кокса

Проба	Крупность, мм	Влага, %	Зольность, %	Выход летучих веществ, %	Сера, %	Теплота сгорания, ккал/кг
5068	0-10	19,9	5,0	11,6	0,44	7874/5665
5069	10-25	18,8	4,0	5,4	0,31	7793/5746
5070	25-40	16,8	9,1	3,9	0,32	7228/5158
5071	0-60	16,8	6,2	6,9	0,38	7714/5702
5072	10-60	18,9	7,8	4,1	0,34	7445/5246
5102	0-25	18,0	4,3	2,9	0,33	7805/5799

Исследованный нами различной крупности кокс АО «Шубарколь комир» может быть использован для пополнения отечественной сырьевой базы для производства электродов и для получения игольчатого кокса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оганесова Э.Ю., Смидович Е.В. Влияние фракционного состава сырья и его происхождения на выход кокса и содержание в нем серы // Химия и технология топлив и масел. – 1998. – №8. – С. 5–8.
2. Смидович Е.В. Подбор сырья и режима коксования для производства кокса улучшенного качества // Химия и технология топлив и масел. – 2001. – №7. – С. 48–50.
3. Глаголева О.Ф., Сосулина Л.Н., Смидович Е.В. Влияние асфальтенов гидравлических смол на выходы продуктов коксования и структуру кокса // Химия и технология топлив и масел. – 1995. – №6. – С. 8–11.
4. Варфоломеев Д.Ф., Стехун А.И. Сырье коксования и эффективность его использования // Тем. обзор. Сер. Переработка нефти. – М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1997. – 56 с.
5. Ежов Б.М., Валявин Г.Г., Седов П.С., Салыхов О.М. Снижение содержания летучих веществ и повышение механической прочности кокса // Химия и технология топлив и масел. 1980. – №4. – С. 7–9.

М.И. Байкенов, проф., д-р хим. наук;
С.К. Мухаметжанова, преп., магистр;
Н.Ж. Балпанова, докторант
(КарГУ имени Е.А. Букетова, Караганда)

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ ТОПЛИВ

На данный момент поиск новых катализаторов и разработка новых технологий переработки твердого углеродного сырья и нефтяных остатков являются одним из главных направлений в развитии энергетики и нефтехимической промышленности. Одна из главных задач при гидрировании тяжелого углеводородного сырья - повышение эффективности гетерогенно-каталитических реакций. Следственно, большое внимание уделяется разработке научных подходов при создании каталитических систем нового поколения, обладающих повышенной активностью и селективностью. Рассматриваются множество вариантов приготовления катализаторов, в частности нанокатализаторов, при различных условиях.

Последнее десятилетие ознаменовалось бурным развитием науки в области нанотехнологий. Окончательно сформировался относительно новый раздел химии, исследующий свойства, строение и особенности химических превращений наночастиц-нанохимия.

Исследователи в области наноразмерного катализа преследуют цель не только получать материалы, которые обладают хорошей избирательностью, тем самым обеспечивая высокий выход продуктов реакции, но и регулировать характеристики получаемых материалов, например, изменять функциональные свойства поверхности катализатора. Например, уже существуют катализаторы, специфическое действие которых можно регулировать изменением стереохимического состава за счет наноразмерных ограничений, действующих в одном, двух или трех измерениях [1].

Целесообразность применения наночастиц в катализе связана, во-первых, с химической активностью, которая пропорциональна удельной поверхности катализатора. Очевидно, что удельная поверхность катализатора, состоящего из наночастиц, больше, чем у гетерогенного катализатора, а, во-вторых, с размерным эффектом. Многие свойства наночастиц зависят от их размера, поэтому, изменяя его, можно управлять и активностью, и селективностью нанокатализатора [2].

Впервые каталитические свойства наночастиц были обнаружены в середине 1990-х гг. Оказалось, что нанокластеры золота, содер-

жащие от 8 до 20 атомов, катализируют окисление угарного газа кислородом при низких температурах, вплоть до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. В этих условиях обычное золото не проявляет никакой активности. При уменьшении размера частиц до 5 нм и ниже меняется кристаллическая структура металла и появляется каталитический эффект. Для каждого кластера существует оптимальная температура, при которой катализатор наиболее эффективен [3].

Сами по себе нанокластеры – еще не катализаторы. Для производства катализаторов наночастицы металлов готовят либо в виде коллоидных растворов, либо наносят на твердый носитель. В последнем случае кластеры металлов получают в газовой фазе, разделяют их по размерам (числу атомов) и затем осаждают на подложке – тонкой пленке оксида металла (MgO , TiO_2 , Fe_2O_3) [3].

На данный момент поиск новых катализаторов и разработка новых технологий переработки твердого углеродного сырья и нефтяных остатков являются одним из главных направлений в развитии энергетики и нефтехимической промышленности [4].

Вышеприведенный литературный анализ показывает, что остается неизученным влияние наноразмерных катализаторов и каталитических добавок на кавитационную обработку нефтяных топлив, и, следовательно, отсутствие литературных источников с соответствующей информацией, дополнить которую является одной из задач данной диссертационной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уайтсайд Дж., Эйглер Д., Андерс Р. и др. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / Под ред. Роко М.К., Уильямса Р.С. и Аливисатоса П., пер. с англ. – М.: Мир, 2003.
2. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. – М.: Техносфера, 2005.
3. Еремин В.В. УМК «Нанохимия и нанотехнология»: лекции 5-8. – М.: Педагогический университет «Первое сентября», 2009.
4. Abbass H. Smart Nanoparticles Technology. – Croatia: Intech, 2012.

З.Б. Абсат, доц., канд. хим. наук;
С.К. Алдабергенова, доц., канд. хим. наук;
Н.Ж.Рахимжанова, доц., канд. хим. наук;
З.С. Халикова, доц., канд. хим. наук;
Е.В. Кочегина, доц., канд. техн. наук;
А.Б. Каримова, доц., канд. хим. наук;
(КарГУ им. академика Е.А.Букетова, Караганда)

ОЧИСТКА МЕДНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА ПСЕВДОБРУКИТОМ

Сложный состав перерабатываемых руд значительно затрудняет их переработку и вместе с тем расширяет возможности экономического роста производства за счет комплексной переработки руд. Однако присутствие в рудах даже незначительных количеств мышьяка и сурьмы приводит к снижению технико-экономических показателей. Более того соединения мышьяка, сурьмы и висмута являются токсичными, что требует особых условий захоронения [1-2].

Данной проблемой обусловлена цель нашего исследования, которая заключалась в разработке выделения мышьяка и сурьмы в труднорастворимой, экологически безопасной форме с использованием псевдобрукита ($MnTiO_3$).

Объектом исследований выбран раствор медного электролита корпорации “КазахмысСМЭЛТИНГ” следующего состава, г/л: Cu-34,87; Ni-7,75; H_2SO_4 -120; As-9,86 ; Sb-1,51; Bi-0,009; Fe-3,40; Zn-1,32.

Для исследования процессов осаждения мышьяка псевдобрукитом нами проведены опыты по вероятностно-детерминированному планированию эксперимента, на четырех уровнях. В качестве факторов взяты: $MnTiO_3$:As (1:1; 1,5:1; 2:1; 2,5:1); температура, °C (25, 40, 50, 60); концентрация серной кислоты, г/л (120, 150, 175, 200); продолжительность опыта, мин. (15, 30, 45, 60) и кратность дозировки осадителя (1, 2, 3, 4). Остаточное количество мышьяка после взаимодействия псевдобрукита с медным электролитом при постоянном перемешивании определялось титриметрическим бихроматиметрическим методом, а сурьмы фотометрическим методом (ксиленовым фиолетовым).

С целью подтверждения результатов, проведенных нами опытов по осаждению мышьяка и сурьмы из медного электролита псевдобрукитом в нерастворимых формах осадок после опыта исследован ИК-спектроскопическим и рентгенофазовым анализами.

Данными ИК-спектроскопического и рентгенофазового анализа подтверждено присутствие арсенат-ионов AsO_4^{3-} и гидроксоантимо-

нат-ионов $[\text{Sb}(\text{OH})_6]^-$, $[\text{Sb}(\text{O})(\text{OH})_5]^{2-}$ в анализируемых образцах.

Таким образом, при проведении процесса осаждения мышьяка и сурьмы псевдобрукитом при соотношении $\text{MnTiO}_3:\text{As}(\text{Sb}) = 1:1$ и выше $t = 60^\circ\text{C}$, и продолжительности процесса 1 час в рабочем растворе остаются их следовые количества.

ЛИТЕРАТУРА

1 Industrial experiment of copper electrolyte purification by copper arsenite ZHENG Ya-jie , XIAO Fa-xin , WANG Yong, LI Chun-hua, XU Wei, JIAN Hong-sheng, MA Yu-tianJ. Cent. SouthUniv. Technol. (2008) 15: 204–208 205

2 Novel technology of purification of copper electrolyteXIAO Fa-xin, ZHENGY-jie, WANG Yong, XU Wei, LI Chun-hua, JIAN Hong-shengTransactions of Nonferrous Metals Society of ChinaVolume 17, Issue 5, October 2007, Pages 1069-1074

3 Сергей С. Медные проблемы цветной металлургии// Сб. научн. трудов «Kazakhstan №3». - 2010. - С.1.

4 Шелудякова Л.А., Афанасьева В.А, Подберезская Н.В., Миرون Ю.И. Спектрально – структурный анализ гидро-фосфатов и -арсенатов натрия // Журнал структурной химии 1999.Том 40, №6. С.1074-1077.

УДК 665.6/.7

М.И. Байкенов, проф., д-р хим. наук;
А.Б. Татеева, проф., канд. хим. наук;
А.К. Муратбекова, доц., канд. хим. наук;
С.К. Мухаметжанова, преп., магистр
(КарГУ имени Е.А. Букетова, Караганда)

ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА СМЕСИ ГУДРОНА И ПКС

Одно из перспективных направлений термохимической переработки гудрона с добавками ПКС – это повышение в гидрогенизате соотношения Н/С. В исходном сырье содержится значительное количество асфальтенов, смол и тяжелых металлов, которые приводят к быстрой дезактивации катализаторов, что затрудняет создание эффективных технологии переработки тяжелого углеводородного сырья (гудрона, тяжелых нефтей, нефтяных остатков и первичной каменноугольной смолы). В литературе представлены различные публикации с использованием разных каталитических добавок при высоких тем-

пературах и давлением водорода [1–3].

Однако предлагаемые способы переработки ТНО имеют один общий недостаток: высокое давления водорода, большой расход катализатора, использование в качестве катализатора паромолибдата аммония и др. в результате предварительных исследований проведенных нами на модельных объектах антрацена и фенантрена в автоклавных условиях было показано, что бинарные нанокатализаторы нанесенные на ферросферу, обладают высокой активностью и селективностью по выходу продуктов гидрирования. Подбор оптимального режима термохимической переработки смеси гудрона и ПКС проводили в интервале температур 390-430⁰С, начального давления коксового газа 3,0-7,0 МПа, количество добавляемой каталитической добавки 0,5–1,1%, количество ПКС добавляемая в гудрон 5–30 мас.% и продолжительность 20–120 мин. Размер частиц каталитической добавки составлял 0,1 мм. Критерием оценки экспериментов служили выход бензиновой, дизельной фракции, газа и кокса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суворов Ю.П. Гидрогенизация остатков нефтепереработки при различных условиях // Химия твердого топлива. – Москва, 2006. № 4. – С. 52–60.
2. Мусина Н.С. Применение магнитной обработки для изменения состава и физико-химических свойств нефти и нефтепродуктов // Аналитическая химия. – М., 2016. Т. 71. № 1. – С. 29-36.
3. Батыжев Э.А. Эффективность ступени жидкофазной термодеструкции нефтяных остатков // Химия и технология топлив и масел. – М, 2005. № 3. – С. 24–26.

УДК 661.1

А.А. Муратбекова, доц., канд. хим. наук;
А.Б. Татеева, доц, канд. хим. наук;
М.И. Байкенов, проф., д-р хим. наук;
Л.К. Салькеева, проф., д-р хим. наук;
Б.М. Манапов, магистрант
(КарГУ имени Е.А. Букетова, Караганда)

ПЕРЕРАБОТКА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ОСТАТКОВ

Утилизация тяжелых остатков нефтепереработки, которые получают на производственных площадках нефтеперерабатывающих предприятий с развитой инфраструктурой, также вызывает множество

проблем. В промышленности и научно-технических кругах господствует мнение, что при утилизации тяжелых нефтяных остатков необходимо добиваться как можно большего выхода светлых нефтепродуктов, при этом не принимается во внимание качество образующихся твердых остатков. Более того, получила распространение концепция глубокой переработки нефти, подразумевающая полное избавление от каких-либо твердых остатков путем их сжигания или газификации в низкоэнергетический газ, причем газификация требует дополнительного привлечения природного газа или водорода со стороны.

Из-за низкой рыночной стоимости углеродных материалов, производимых в рамках традиционных технологий (технический углерод, кокс), промышленность не стремится широко вводить утилизацию углеводородных отходов с получением углерода.

В то же время все перечисленные виды побочных углеводородных продуктов являются многообещающим сырьем для производства ценных углеродных материалов, которые по сравнению с рядовыми углеродными материалами имеют высокую добавленную стоимость и спрос на которые устойчиво растет. Некоторые из них, как например углеродные нановолокна представляют собой новый тип высокопрочного углеродного материала. Другие же, например игольчатый кокс повышенного качества, известны десятки лет, но только в последнее время они нашли широкое применение благодаря своим улучшенным физико-химическим и механическим свойствам, обусловленным упорядоченной наноструктурой. Рыночная цена на игольчатый кокс достигает 400–700 долларов за тонну.

Внутри казахстанский спрос на него составляет в настоящее время более 100000 тонн в год. Стоимость углеродного волокна конструкционного качества равна 2500000 долл. за тонну, - внутри казахстанский спрос на это волокно составляет свыше 500 тонн в год, а мировой спрос – свыше 12000 тонн в год. Указанные цены многократно (для углеродного волокна на несколько порядков) превосходят текущие цены на технический углерод и рядовые малоценные коксы.

Игольчатый кокс стратегический материал поэтому производители электродных устройств призывают к сотрудничеству Министерство энергетики, крупные нефтяные компании, к решению вопроса о начале производства на территории Казахстана как нефтяных игольчатых коксов, так и коксов с таким содержанием серы и других примесей, что в свою очередь приведет к сырьевой безопасности от западных производителей предприятия черной, цветной, атомной и военной промышленности нашей страны.

Игольчатый кокс используется для получения высококачествен-

ных графитовых электродов, необходимых для сталелитейной промышленности. Электроды должны иметь высокую механическую прочность, электропроводность, низкое содержание серы и низкий КТР.

Известно, что режим получения игольчатого кокса отличается от обычного режима получения коксов большей жесткостью, а именно, более высокими значениями температуры, давления и высокими величинами коэффициента рециркуляции (K_p). Из дистиллятного крекинг - остатка игольчатый кокс получают при температуре сырья на выходе из печи – 507⁰С, давления в реакторе – 0,35 МПа, $K_p=2,08$. В случае использования смолы пиролиза при температуре равное 502⁰С отмечается, что высокие значения K_p улучшают структуру кокса и повышают его выход на первичное сырье. При производстве кокса игольчатой структуры нецелесообразна высокая скорость процесса охлаждения реактора, поэтому к оборудованию установки, особенно при проведении операций охлаждения и выгрузки кокса из реактора предъявляются повышенные требования из за высоких напряжений в массе металла, большего сопротивления «коксового пирога», препятствующего прониканию воды при гидровыгрузке кокса. Поэтому время выгрузки кокса в случае производства игольчатого кокса увеличивается. То есть для получения высококачественной продукции для удовлетворения производственных потребностей необходимо разработать технологические схемы получения, режимы и оптимальные условия проведения процесса.

Определяющим условием получения игольчатого кокса является выбор сырья. Сырье для производства игольчатого кокса должно быть высокоароматичным и должен иметь высокую плотность (не ниже 1,02 г/см³), обладать низкими содержаниями серы (до 0.5%), золы (до 0,03%), нерастворимых в хинолине (до 1%), и минимумом содержания асфальтенов (в пределах 8–15 %). Содержание ароматических углеводородов в сырье для игольчатого кокса должно составлять 60–85 %, а фракции, выкипающих до 360 °С, должно быть не более 25% на сырье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузеев И.Р., Бикбулатова А.М., Мовсум-заде Э.М. Этапы становления представлений о механизмах образования нефтяного кокса // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2000. №10. – С. 27–30.
2. Ковач М., Мовик Г., Элиот Д. Облагораживание остаточного сырья в ценные высококачественные продукты // Нефтегазовые технологии. – 2006. – № 10. – С. 83–86.
3. Глаголева О.Ф. Динамика производства сырого и прокаленного нефтяного кокса в России // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2006 . – №6. – С. 30–31.

М.И. Байкенов, проф., д-р хим. наук;
А.Б. Татеева, проф., канд. хим. наук;
А.К. Муратбекова, доц., канд. хим. наук;
С.К. Мухаметжанова, преп., магистр
(КарГУ имени Е.А. Букетова, Караганда)

КАВИТАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА МОДЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРИСУТСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности представляет интерес рациональное использование ресурсов легкого углеводородного сырья, получаемого из нефти. Как известно, различные бензиновые фракции нефти содержат значительное количество линейных алканов, для которых характерна низкая детонационная стойкость, что не позволяет напрямую использовать их в качестве автомобильного бензина. В мировом производстве автомобильных бензинов наблюдается постоянная тенденция повышения в них содержания изопарафинов, имеющих высокие октановые числа и лучшие экологические характеристики по сравнению ароматическими углеводородами. В связи с этим, процесс гидроизомеризации является одним из методов улучшения эксплуатационных характеристик легких бензиновых фракций. Проблема, связанная с повышением октанового числа бензиновых фракций, весьма важна [1,2]. В настоящее время требования, предъявляемые к высокооктановым моторным топливам, предусматривают ограничения по содержанию ароматических углеводородов, особенно бензола ($\leq 1\%$), олефинов и серы. Ключевыми процессами нефтепереработки становятся гидрокрекинг, гидрообессеривание, гидроароматизация, гидроизомеризация, алкилирование, дегидрирование и каталитический риформинг. Таким образом, создание новых катализаторов для направленной гидропереработки нефти и ее фракций в высококачественное топливо в настоящее время и в ближайшем будущем будет оставаться актуальной задачей [3,4].

Многие исследователи, занимавшиеся кавитационной переработкой различных материалов, давно уже наблюдали целый ряд физико-химических превращений, особенно при ультразвуковой кавитации. Влияние прямого воздействия кавитации на химические превращения алканов наблюдали крекинг гексадекана ($C_{16}H_{34}$) под действием ультразвука. При этом газообразными продуктами реакции были H_2 , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_2 [5]. По исследованию влияния кавитации на физико-химические превращения в жидких средах сделаны лишь первые

шаги, так как во многих случаях еще не найдено однозначного объяснения наблюдаемых явлений.

Для определения механизма активности и селективности выбранных катализаторов в процессах нефтяной переработки, часто используют модельные соединения, такие как антрацен, фенантрен, пирен, нафталин и др., что позволяет более детально установить механизмы переработки тяжелой нефти и разработать научно-обоснованные методы прогноза их ведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кашин О.Н., Ермоленко А.Д. Проблемы производства высококачественных бензинов и дизельных топлив// Нефтепереработка и нефтехимия. – 2005. – №5.
2. Коновальчиков О.Д., Мелик-Ахназаров Т.Х., Хавкин В.А. Полифункциональные цеолитсодержащие катализаторы для процессов нефтепереработки// Нефтепереработка и нефтехимия. - 2000. -№9.
3. Томина Н.Н., Пимерзин А.А., Логинова Л.Н., Шарихина М.А. Каталитическое гидрооблагораживание нефтяных фракций на модифицированных алюмоникелькобальтмолибденовых катализаторах // Нефтехимия. – 2004. – №44.
4. Ма Фэн Юнь, Байкенов М.И., Гудун К.А. и др.// Вестник Карагандинского университета. – 2012. – №2.
5. Yakovlev V.A., Zavaruxin S.G., Kuzavov V.T., others. The study of chemical transformations of organic compounds by cavitation effects//Chemical physics. – 2010. – № 3.

УДК 621.926

В. И. Козловский, ассист., канд. техн. наук;
О. А. Петров, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ДИСПЕРГАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Тонкодисперсные материалы в последнее время находят широкое применение во многих отраслях промышленности. Значительно возрастающая при диспергировании удельная поверхность, появление на границе разрыва кристаллов свободных ионов способствуют повышению химической активности взаимодействующих веществ и позволяют получать новые материалы с уникальными свойствами.

Одним из основных методов получения таких материалов явля-

ется диспергационный, который в свою очередь может быть осуществлен механическим (шаровые, вихревые, бильные и струйные мельницы) и механохимическим помолом, а также механическим воздействием различных сред (кавитация, ультразвук, ударная волна и др.). В основном при этом материал разрушается за счет удара и истирания. Однако с уменьшением размера частиц их взаимодействие друг с другом увеличивается и происходит агломерация. Поэтому для устранения этого негативного фактора процесс диспергирования производят в жидкой среде или в сухую помольную среду вводят поверхностно-активные вещества.

К диспергационному методу, как и к другим, предъявляются определенные требования, а именно:

- метод должен обеспечивать получение материала контролируемого состава с воспроизводимыми свойствами;

- метод должен обеспечивать временную стабильность материала;

- метод должен иметь высокую производительность и экономичность;

- метод должен обеспечивать получение материалов с определенным размером частиц или зерен, причем их распределение по размерам должно быть, при необходимости, достаточно узким.

В результате анализа диспергационных методов и требований, предъявляемых к ним можно сделать вывод, что для получения тонкодисперсного продукта с наноразмером частиц исходный материал должен подвергаться последовательному помолу в установках разных типов.

УДК 621.929

П. Е. Вайтехович, доц., докт. техн. наук;
Д. Н. Боровский, ст. преп., канд. техн. наук;
Д. В. Гапанюк, доц., канд. физ.-мат. наук (БГТУ, г. Минск)

КИНЕМАТИКА РАБОЧЕГО ОРГАНА ПЛАНЕТАРНОГО СМЕСИТЕЛЯ

Процессы перемешивания различных веществ широко применяют во многих отраслях промышленности, в том числе и в промышленности строительных материалов. В различных технологических процессах требуется создать однородную массу, состоящую из нескольких компонентов. В других случаях необходимо обеспечить максимально полный и равномерный по всему объему контакт реагирующих компонентов. Планетарный бетоносмеситель является циклическим смесителем, рабочие

органы которого совершают сложное движение в тарельчатой ёмкости.

Одним из основных отличительных элементов конструкции планетарного (противоточного) бетоносмесителя являются смесительные звёзды, которые вращаются вокруг вертикального вала смесителя и относительно своей оси одновременно.

В результате такого движения, закреплённые на звёздах рычаги с лопатками, осуществляют интенсивное перемешивание всего объёма смеси, исключая возникновение мёртвых зон.

В работе определены координаты специфических точек перемешивающих лопастей и построений траекторий их движения, а также нахождения скоростей этих точек для конкретных геометрических соотношений реального планетарного смесителя для приготовления бетонной смеси.

Проанализировав полученные графические зависимости, можно сделать вывод о том, что при целом значении отношения радиусов (в данном случае 3) мы получаем повторяющиеся траектории, которые накладываются одна на одну. Это говорит о том, что каждый раз мы получаем повторяющуюся картину движения.

Для дробного иррационального отношения радиусов при увеличении количества оборотов можно заметить смещение траекторий всех специфических точек лопатки, благодаря чему можно достичь более качественного покрытия рабочей поверхности, а следовательно получить более качественное перемешивание за более короткий срок.

УДК 621.5:519.6

А. А. Андрижиевский, д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск);
А. Г. Трифонов, докт. техн. наук; Л. С. Карпович
(ОИЭЯИ - Сосны НАН Беларуси, г. Минск)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПАРОЖИДКОСТНОГО ПОТОКА В КОНТУРЕ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ СИСТЕМЫ ПАССИВНОГО ОТВОДА ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ АЭС

Исследование пассивных систем с естественным охлаждением требует совместного моделирования следующих нестационарных процессов: конденсации пара из парогазовой смеси под защитной оболочкой на внешней теплообменной поверхности; режимов кипения на внутренних поверхностях трубных пучков теплообменников, с возможным воз-

никновением режима пленочного кипения; перемешивания охлаждающей воды и испарения в баке-охладителе (БАОТ) при отводе тепла от парогазовой смеси теплообменника-конденсатора; устойчивости работы контуров охлаждения системы пассивного отвода остаточного тепловыделения (СПОТ) АЭС. Кроме того, при построении замкнутых физических и математических моделей описания процессов переноса в элементах СПОТ АЭС возникает необходимость задания условий сопряжения отдельных фаз, т.е. необходимость описания механизмов переноса массы и теплоты через межфазную границу. При этом следует рассматривать два вида условий сопряжения: на свободной границе и при относительном (спутном или противоточном) движении фаз.

В данном исследовании в качестве базовой имитационной модели использовалась система уравнений сохранения, для парокапельной смеси в допущениях модели гомогенного двухфазного потока (модель смешения) [1,2]. Объектом имитационного моделирования являлся охлаждающий контур с естественной циркуляцией, включающий гладкий трубный пучок парогенератора и, размещенный в БАОТ многосекционный теплообменник-конденсатор. При проведении тестовых вычислительных экспериментов посредством разработанных на основе программного пакета COMSOL Multiphysics 3.а формализованных вычислительных шаблонов решалась нестационарная задача на установление. В результате получены характеристики структуры парокапельных потоков в контуре охлаждения СПОТ АЭС и динамики образования и течения пленки конденсата при спутном и противоточном движении пара. В частности, определены временные интервалы возникновения волнового характера течения конденсата в вертикальных каналах теплообменных устройств вследствие межфазного взаимодействия дисперсной и непрерывной (паровой) фаз. Данное динамическое явление вызывает особый интерес, так как может являться причиной динамической неустойчивости охлаждающего контура в целом.

На рисунках 1, 2 представлены профили скоростей двухфазной рабочей среды (конденсата и пара) в опускной и подъемной линиях контура охлаждения СПОТ АЭС с естественной циркуляцией. Как следует из данных иллюстраций, в условиях проведения вычислительных экспериментов, а также при принятых условиях сопряжения как элементов контура охлаждения СПОТ АЭС, так и межфазных взаимодействий указанная динамическая неустойчивость не возникала. Вместе с тем, данный вывод требует подтверждения в более широком диапазоне изменения параметров СПОТ АЭС.

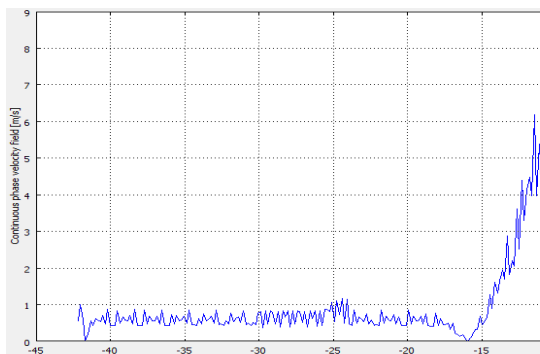


Рисунок 1 – Изменение скорости двухфазной смеси в трубопроводе конденсата (опускная линия)

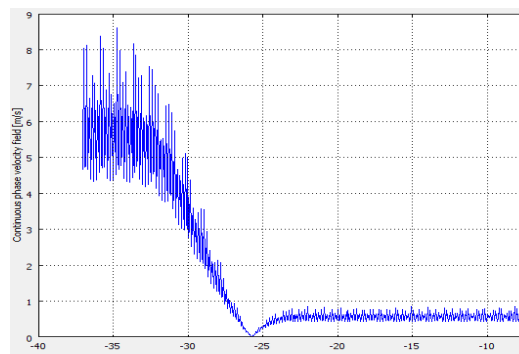


Рисунок 2 – Изменение скорости двухфазной смеси в трубопроводе пара (подъемная линия)

В заключение следует отметить, что разрабатываемый пространственный модельный аналог процессов теплопереноса в системах пассивного отвода тепла СПОТ АЭС и результаты данного исследования могут быть использованы для проведения анализа безопасности работы Белорусской АЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрижиевский А.А., Трифонов А.Г., Кулик Л.С. Моделирование структуры термоконвективных потоков в системе пассивного отвода тепла АЭС // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. 2016. № 3 (185). С. 142-146.
2. Андрижиевский, А.А., Михалевич А.А., Трифонов А.Г. Моделирование термоконвективных течений в динамических газожидкостных слоях водных охладителей // Доклады Академии наук Беларуси – 1995. – том 39, №3. Технические науки – с. 109–113.

УДК 536.24

В. В. Дударев, доц., канд. техн. наук;
В. Н. Фарафонов, доц., канд. техн. наук(БГТУ, г. Минск)

ИНЖЕНЕРНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ СЛОЕ ВНЕШНЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОРЕБРЕННОЙ ТРУБЫ

Проблемой эксплуатации газо-жидкостных теплообменных аппаратов является сложность удаления из межреберного пространства оребренных труб отложений загрязнения. Поэтому исследование влияния скорости и степени загрязнения на термическое сопротивление оребренной трубы по-прежнему актуально. В выражение данного

сопротивления входит термическое сопротивление самого слоя загрязнения, которое может быть выражено как отношение его характерного размера к коэффициенту теплопроводности. Результаты исследования теплопроводности разнообразных внешних загрязнителей, свойственных аппаратам воздушного охлаждения приведены в [1]. Таким образом, для проведения дальнейших исследований необходима зависимость характерного размера слоя загрязнения от соотношения толщины слоя с конструктивными параметрами оребрения и условиями теплоотдачи на оребренной поверхности, что являлось целью настоящей работы.

Выражение характерного размера было получено на основе аналитического решения двумерной стационарной задачи теплопроводности цилиндрического слоя загрязнения, контактирующего нижней и боковой поверхностью с оребрением трубы [2,3]. Здесь в безразмерном виде приведены зависимости расчета двумерных полей распределения температуры и тепловых потоков, а также их осредненные значения на границах слоя и на его произвольной цилиндрической поверхности внутри. Расчётные зависимости представляют собой сумму сходящегося ряда, содержащие комбинации функций Бесселя первого, второго рода нулевого и первого порядка. Оказалось, что при определенных условиях задачи, представляющих интерес для инженерной практики, скорость сходимости ряда не позволяет ограничиться его первым членом при расчётах. Исследования показали, что расхождение между точным и приближённым расчётами может составлять до 20%. Поэтому данное упрощение требует введение поправочного коэффициента, который выражается как функция от исследуемых параметров. Определённые неудобства при исследовании теплопроводности слоя загрязнения с учётом интересующих исследователя факторов создаёт также громоздкость комбинаций функций Бесселя, определяющих характер изменения температуры по толщине слоя (в радиальном направлении). Для упрощения расчётных зависимостей комбинации функций Бесселя были заменены гиперболическими функциями. Погрешность данного приближения не превышала 2%.

Изучен характер полей распределения температуры и тепловых потоков с учетом влияния ряда факторов: толщины слоя загрязнения, конструктивных размеров оребренной трубы и условий теплоотдачи на её оребренной поверхности, объединённых в безразмерные комплексы. Установлено, что распределение теплового потока по ширине слоя (в аксиальном направлении) загрязнения носит не только количественный, но и качественный характер. Существует некоторая характерная цилиндрическая поверхность внутри слоя, на которой наблю-

дается инверсия распределения результирующего теплового потока по направлению от левой торцевой поверхности ребра к соседней правой, когда ее кривая из выпуклой становится вогнутой.

С учётом упрощения строгого решения задачи предложена формула, удобная для инженерного расчета характерного размера короткого цилиндрического слоя загрязнения и его термического сопротивления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kuntysh V. B., Dudarev V. V., Filatov S.O., Korolkova A. M. Thermal Conductivity of External Contaminants of Air Cooled Heat Exchangers// Chemical and Petroleum Engineering, July 2017, Vol. 53, Issue 3–4, pp. 244–247.

2. Методика расчета и анализ коэффициента теплопередачи биметаллических ребристых труб аппаратов воздушного охлаждения с неравномерным внешним загрязнением/ В.В. Дударев [и др.]// Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2017. – Т.60, №3. – С. 237 – 255.

3. Дударев В.В., Фарафонов В.Н. Вычисление распределения плотности тепловых потоков в цилиндрическом слое внешнего загрязнения ребренной трубы // Химическая технология и техника: тезисы 82-й науч.-техн. конференции профессорского-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1-14 февраля 2018 г. [Электронный ресурс] / отв. За издание И.В. Войтов; УО БГТУ. Минск: БГТУ, 2018. – С.48.

УДК 621.1

Д. Г. Калишук, доц., канд. техн. наук;

А. Э.Левданский, зав. кафедрой, доц., д-р техн. наук;

Н. П. Саевич, доц., канд. техн. наук;

Е. В.Опимах, ассист., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА ХОЛОДИЛЬНИКА-КОНДЕНСАТОРА ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ ПИРОЛИЗА ШИН

Сотрудниками ООО «РТС-групп» была разработана опытно-промышленная установка пиролиза отработанных шин. Она состоит из следующих основных элементов: камеры пиролиза, циклона, фильтра, холодильника-конденсатора, сборника-сепаратора и сборника жидкого продукта. В результате осуществления процесса

пиролиза шин получают твердый углеродный остаток, обожженный металлокорд и жидкий продукт, состоящий в основном из смеси углеводородов. Жидкий продукт представляет собой конденсат парогазовой смеси, удаляющийся из конденсатора-холодильника. В исходном варианте исполнения установки конденсатор-холодильник был изготовлен в виде многосекционного теплообменника тип «труба в трубе». В приведенном случае недостатками существующего аппарата являлись повышенное гидравлическое сопротивление и совместный отвод жидкого продукта и неконденсирующихся газов. Особенности эксплуатации холодильника-конденсатора являются жесткие температурные условия и высокая вязкость жидкого продукта.

Нами было предложено использовать в качестве холодильника-конденсатора кожухотрубчатый вертикальный теплообменник с U-образными трубами. Анализ показал, что стандартная конструкция аппарата не применима из-за чрезмерно больших вертикальных размеров и наличия сегментных перегородок в межтрубном пространстве. Было предложено корпус аппарата выполнить с коническим днищем, заканчивающимся штуцером для отвода жидкого продукта. Также конструкция вновь разработанного конденсатора-холодильника содержит вертикальную перегородку в межтрубном пространстве, обеспечивающую дополнительно дистилляцию жидкости и повышающую качество жидкого продукта.

УДК 661.179

А. А. Карниевич, студ.; К. А. Ковалева, студ.; А. Ю. Тишевич, инж.;
А. Э. Левданский, зав. кафедрой, д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ХИМИЧЕСКИЙ МИКРОАНАЛИЗ НЕФТЯНОГО КОКСА ОАО «НАФТАН» И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЕГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

На нефтеперерабатывающих предприятиях образуются твердые отходы нефтепереработки. Одним из таких является нефтяной кокс. В настоящее время на производстве ОАО «Нафтан» нефтяной кокс образуется в небольших количествах, около 10-20 тонн в год, и утилизируется путем захоронения. Однако, после завершения реконструкции предприятия к концу 2019 года ожидается увеличение количества отходов до 1000 тонн в сутки. Такое количество нефтяного кокса утили-

зировать путем захоронения недопустимо.

Нефтяной кокс представляет собой гранулы неправильной формы черного цвета с металлическим блеском. Элементный состав сырого (не прокаленного) нефтяного кокса (в %): С: 91-99,5; Н: 0,035- 4; S: 0,5-8; (N+O): 1,3-3,8; остальное – металлы. Материал исследовали методом сканирующей электронной микроскопии с химическим микроанализом. Было подтверждено преобладание углерода в составе.

Нефтяной кокс ОАО «Нафтан» может быть использован в качестве топлива, пигмента, наполнителя в композиционных материалах, при производстве технического углерода. В различных технологиях применения данного отхода к нему предъявляются различные требования по гранулометрическому составу.

Материал измельчался на щековой дробилке и на мельнице ударного типа. После чего проводился ситовой анализ и изучение гранулометрического состава. Классификация производилось по массе частиц определенного размера по отношению к общей массе материала.

Согласно проведенным исследованиям, было выявлено, что увеличение частоты вращения ротора мельницы, ведет к увеличению количества фракции размера 0,25 мм. Также было установлено, что увеличение скорости загрузки материала негативно влияет на гранулометрический состав, увеличивая количество более крупной фракции.

По результатам исследований получена графическая зависимость гранулометрического состава измельченного нефтяного кокса в зависимости от технологических параметров мельницы.

УДК 628.978

В. П. Кобринец, доц., канд. техн. наук;

Н. П. Коровкина, доц., пед. наук;

Н. Н. Пустовалова, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

НЕКОТОРЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В настоящее время в различных отраслях промышленности предпринимаются усилия по внедрению в производство инновационных решений и технологий, позволяющих сократить потребление электроэнергии. Последнее особенно важно для государств, не обладающих значительными запасами углеводородных ресурсов.

Основными направлениями экономии топливно-энергетических ресурсов являются следующие: внедрение частотно-регулируемых

электроприводов (ЧРЭП); замена устаревшего оборудования современным энергосберегающим; полное и рациональное использование производственных мощностей предприятия.

Энергосбережение сводится к снижению потерь энергии. В общепринятой структуре потребления электроэнергии электропривод занимает 60%, электрический транспорт – 9%, электротермия и электротехнология – 10%, освещение и прочие потребители – 21%. Отсюда следует, что основной эффект может быть получен в наиболее энергоемкой сфере – сфере использования электропривода. Система «электронный преобразователь частоты – короткозамкнутый асинхронный двигатель» в настоящее время является оптимальным техническим решением массового электропривода. Из всей электроэнергии, потребляемой на предприятиях электроприводом, 40% приходится на электроприводы насосов и вентиляторов. Предлагаются энергосберегающие мероприятия для насосов и вентиляторов. За критерии оценки приняты экономия электроэнергии в год и срок окупаемости. Расчеты показали, что годовая экономия электроэнергии при работе установок с ЧРЭП при сравнении с обычным электроприводом для насосных агрегатов составляет 75,2 до 954,8 т. кВт·ч/год в зависимости от мощности двигателя, а для вентиляционных установок – 48,9 т. кВт·ч/год при сроке окупаемости от 0,5 до 1,3 года.

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.

УДК 621.928; 532.517

А.М. Волк, доц., канд. техн. наук;
В.С. Францкевич, зав. кафедрой, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КЛАСИФИКАЦИИ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДУШНЫХ КЛАСИФИКАТОРАХ

До недавнего времени изучение поведения газожидкостных систем было ограничено экспериментальными методами, но в связи с быстрым ростом производительности компьютерных систем стало возможным анализировать и рассчитывать подобные процессы даже на персональных компьютерах. Поэтому целью работы было создание универсальной математической модели процесса классификации по-

лидисперсных материалов, позволяющей определять граничный размер разделения в динамических классификаторах с учетом изменения как их конструктивных (соотношение геометрических размеров вращающейся корзины и корпуса, расстояние между лопатками), так и технологических параметров (частота вращения корзины, скорость воздушного потока, гранулометрический состав материала). Объектом исследования являлся динамический воздушный классификатор, представляющий собой цилиндрический корпус, внутри которого установлен ротор с отбойными лопатками. При вращении ротора с определенной скоростью более крупные частицы не успевают попасть во внутреннюю его часть и отбиваются лопатками к стенке классификатора, т. е. отделяются от готового продукта. Вращающийся ротор также создает дополнительное вращение несущей среды, что позволяет увеличить центробежную силу, действующую на частицы материала. Было рассмотрено движение частиц в закрученном газовом потоке и составлена математическая модель. Апробация полученной математической модели проводилась на примере расчета граничного размера разделения в типовом воздушном динамическом классификаторе с цилиндрической и конической корзинами. Аналитически определялась необходимая частота вращения ротора классификатора для достижения граничных размеров продукта в пределах от 100 до 10 мкм. Сравнение расчетных значений показало, что расхождение экспериментальных данных, предоставленных заводом-изготовителем классифицирующей техники, с расчетными не превышает 10–15%.

УДК 620.193

Д. М. Новик, доц., канд. техн. наук;

В. С. Францкевич, зав. кафедрой, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск);

А. В. Шалейко, зам. директора по производству
(ООО «Машхимпром», г. Солигорск)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ШНЕКОВОГО РАСТВОРИТЕЛЯ

Процесс растворения сильвинитовых руд основан на различной растворимости солей хлористого калия и хлористого натрия при данной температуре. Растворимость NaCl с повышением температуры увеличивается незначительно, а растворимость KCl повышением температуры возрастает резко. В калийной промышленности выщелачивание сильвина из руды осуществляют в шнековых растворителях.

Они обладают простотой конструкции и высокой производительностью. Растворитель состоит из сварного корпуса корытообразной формы с мешалкой и наклонным ковшовым элеватором для выгрузки не растворившейся твёрдой фазы. Мешалка представляет собой горизонтальный вал, вращающийся в подшипниках скольжения. Она имеет пять секций перемешивающих элементов: лопасти, образующие прерывистую спираль для перемещения твёрдого материала вдоль корпуса, и скребки, установленные параллельно валу для перемешивания в пределах каждой секции. В настоящее время основной конструкционной сталью растворителя является нержавеющая дуплексная сталь 1.4462 (03X22H5AM2). В связи с высокой агрессивностью насыщенных щелоков, для защиты от коррозии используется протекторная защита путем крепления на мешалке растворителя алюминиевых чушек. Алюминий является ингибитором, т.е. металлом с повышенными электроотрицательными качествами.

В работе исследована коррозионная стойкость конструкционных материалов шнекового растворителя и возможность использования протекторной защиты. Получены катодные и анодные поляризационные кривые в насыщенных солевых растворах нержавеющей стали 1.4462 (03X22H5AM2). Изучена скорость коррозии нержавеющей стали, определены глубинный показатель коррозии, балл стойкости материала в насыщенных солевых растворах при температурах 20⁰С и 100⁰С. Определено влияние алюминиевой протекторной защиты на показатели коррозионной стойкости нержавеющей стали в насыщенных солевых растворах при температурах 20⁰С и 100⁰С.

УДК 621.65.01

В. Н. Павлечко, канд. техн. наук, доц.;
С. А. Герасимчик, магистрант
(БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ РАДИАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА

Полное давление лопастного колеса радиального вентилятора, рассчитанное по схеме бесконечного числа лопастей, включает динамическое давление, создаваемое лопастями в направлении окружной скорости, статическое давление, создаваемое лопастями в радиальном направлении, а также статическое давление, создаваемое центробежной силой [1].

Действительный напор радиального вентилятора может быть определен по формуле:

$$P_d = P_p - \xi \frac{\rho c_{r \text{ оп}}^2}{2}, (1)$$

где P_p – общее расчетное давление вентилятора, Па; ξ – коэффициент сопротивления; ρ – плотность воздуха, кг/м³; $c_{r \text{ оп}}$ – опытное значение радиальной скорости вентилятора, м/с.

Для определения коэффициента сопротивления ξ выбраны 12 радиальных вентиляторов ЦАГИ, которые имеют одинаковые или близкие углы наклона лопастей на входе в рабочее колесо и на выходе из него: Ц 3-81, Ц 4-50, Ц 4-57, Ц 4-61, Ц 4-73, Ц 5-31, Ц 5-34, Ц 5-36, Ц 6-12, Ц 6-18, Ц 6-24, Ц 7-22 с количеством лопастей 6, 10, 12, 16. Различаются они также отношением входного и выходного диаметров, шириной проточной части колеса и размерами выходного патрубка.

В результате исследования установлено, что для одного и того же типа вентилятора коэффициент сопротивления имеет практически постоянную величину, коэффициент сопротивления для различных типов вентиляторов имеет разные значения. Коэффициенты сопротивления радиальных вентиляторов Ц 6-12 и Ц7-22 имеют высокие значения, это связано с тем, что углы наклона лопастей β_1 и β_2 имеет высокие значения, диаметр входного патрубка имеют малые значения.

Среднее отклонение опытного и расчетного значения действительного напора составляет 3%. Поэтому для расчета действительного давления может быть использована формула (1).

Павлечко, В.Н. К вопросу о теоретическом давлении радиально-го нагнетателя / В.Н.Павлечко, С.К.Протасов // ИФЖ. 2014. Том 87, № 6. С. 1448–1454.

УДК 661.937.2

В. Н. Павлечко, доц., канд. техн. наук;

В. С. Францкевич, зав. кафедрой, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);

М. В. Филиппов, зам. главного инженера (ОАО «Крион», г. Минск)

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В ТЕХНИЧЕСКОМ КИСЛОРОДЕ

В настоящее время кислород в ОАО «Крион» получают с высокой концентрацией, достигающей 99,5%. Однако для отдельных потребителей требуется более высокая чистота продукта и для ее достижения требуется значительное количество тарелок и соответствующие

затраты энергии.

Разделение воздуха на составляющие (азот, кислород, аргон и др.) осуществляется в ректификационных колоннах с ситчатыми тарелками, эффективность которых невысока и составляет ориентировочно 30% и их количество в укрепляющей части колонны достигает несколько десятков.

Пленочные массообменные аппараты имеют низкое гидравлическое сопротивление и высокие массообменные характеристики. Толщина стекающей пленки жидкости составляет доли миллиметра и массообмен в тонкой пленке более эффективный, чем в толще слоя на тарелке. Поэтому для повышения чистоты кислорода предложен вариант массообмена в тонкопленочном аппарате.

Проведенные расчеты массообмена между стекающей пленкой кислорода и восходящим потоком пара в трубке внутренним диаметром 40 мм и высотой 1,5 м, показали, что при расходе жидкого кислорода 80 кг/час и пара 12 кг/час толщина жидкой пленки составляет 0,2 мм, средняя скорость ее течения – 0,8 м/с, скорость пара в трубке – 0,6 м/с. При атмосферном давлении температура жидкого кислорода составляет 90 К. Причем пар образуется при испарении части стекающей пленки кислорода при обогреве трубки атмосферным воздухом.

Расчеты выполнены для варианта массообмена без кипения жидкости для бинарной смеси азот–кислород. Расчетная величина коэффициента массообмена равна 0,275 кг/(кв. м·с·масс. доля). Однако при кипении жидкой пленки массообмен повышается за счет более интенсивного обновления поверхности контакта фаз и увеличения самой поверхности при образовании брызг. С другой стороны примеси в кислороде представлены не только азотом, но и другими компонентами воздуха, учесть влияние которых весьма сложно. Для уточнения параметров очистки кислорода в тонкопленочном устройстве предполагается проведение исследований на соответствующей экспериментальной установке.

В. И. Володин, проф., д-р техн. наук;
В. Б. Кунтыш, проф., д-р техн. наук;
С. В. Здитовецкая, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

КОНДЕНСАТОР-АККУМУЛЯТОР ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В настоящее время широкое использование в системах отопления и горячего водоснабжения получили тепловые насосы (ТН), которые представляют собой перспективное и экологически чистое энергосберегающее оборудование. Для надежного теплоснабжения в схему ТН вместе с конденсатором включаются бак-аккумулятор и буферная емкость с горячей водой. При этом конденсатор и аккумулирующие емкости могут иметь отдельные конструкции или объединяться в одну [1].

В данной работе объектом исследования является конденсатор-аккумулятор ТН. На основе разработанной интегральной методики расчета проведен сравнительный численный анализ тепловой эффективности традиционной поверхности теплообмена конденсатора в виде простого спирального змеевика и предлагаемой змеевиковой труба в трубе, погруженных в нагреваемую воду.

Исследуемые конденсаторы-аккумуляторы с тепловым потоком 10 кВт размещались в теплоизолированной емкости объемом 500 л с диаметром корпуса 0,75 м и высотой 1,14 м. Схема течения потоков в конденсаторе с змеевиковой поверхностью теплообмена труба в трубе противоточная, а при использовании обычного змеевика – противоточно-перекрестная.

Теплоотдача со стороны конденсирующегося хладагента во всех случаях определялась по зависимости работы [2].

Наружная поверхность кольцевого канала поверхности труба в трубе принималась адиабатной. Коэффициент теплоотдачи со стороны внутренней поверхности рассчитывался по данным работ [3, 4].

В случае простого змеевика коэффициент теплоотдачи со стороны нагреваемой воды рассчитывался по зависимости работы [5] для поперечного обтекания цилиндра в большом объеме при вынужденной конвекции. Данные по теплоотдаче для данного случая в настоящее время недостаточно изучены и требуется проведение дополнительных исследований.

В таблице приведены результаты сравнительного анализа поверхностей теплообмена, исследуемых конструкций конденсаторов-аккумуляторов для системы теплонасосного горячего водоснабжения.

Параметры конденсатора-аккумулятора

Параметр	Поверхность теплообмена	
	змеевик труба в трубе	простой змеевик
Тепловой поток, кВт	10,0	10,0
Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·°С)	930	187
Размеры трубы змеевика, мм	21×1; 14×1	14×1
Температура воды на входе/выходе, °С	10,0/55,0	10,0/55,0
Площадь поверхности теплообмена внутренняя, м ²	0,58	3,03
Длина труб змеевика, м	15,65	80,3
Диаметр змеевика, м	0,5	0,5
Шаг витков змеевика, м	0,023	0,016
Число витков змеевика	10	51
Высота змеевика, м	0,23	0,82
Масса змеевика, кг	12,82	25,91

Получено, что конденсатор-аккумулятор с поверхностью теплообмена труба в трубе обладает улучшенной массогабаритной характеристикой. Аппарат имеет меньшую поверхность теплообмена по сравнению с простой змеевиковой поверхностью. Масса поверхности теплообмена уменьшается в 2 раза, а высота змеевика – в 3,6 раза. Этот эффект достигается за счет более интенсивного теплообмена со стороны нагреваемой воды с увеличением ее скорости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Morrison, Graham L. Heat pump water heaters // New Zealand Journal of Ecology. – 2006. – 18(6). – P.12–16.
2. Гопин, С. Р. Воздушные конденсаторы малых холодильных машин / С. Р. Гопин, В. М. Шавра. – М.: ВО «Агропромиздат», 1987. – 151 с.
3. Кутателадзе, С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.
4. Тепловой и гидравлический расчет теплообменного оборудования АЭС. Методические указания: РД 24.035.05-89. – Л.: НПО ЦКТИ, 1991. – 211 с.
5. Кириллов, П. Л. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) / П. Л. Кириллов, Ю. С. Юрьев, В. П. Бобков; под общ. ред. П. Л. Кириллова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 360 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПАРИТЕЛЯ АЭРОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА

К настоящему времени разработаны аэротермальные тепловые насосы воздух-вода для систем теплоснабжения с регулированием мощности, что повышает их энергетическую эффективность при низких температурах воздуха [1]. Они могут нагревать воду до 58°C и продолжать работать, даже когда наружная температура воздуха опускается до -20°C . Если тепловой насос не производит достаточно тепла для отопления дома, блок управления включает встроенный погружной нагреватель или дополнительный источник энергии.

Определяющим теплообменным аппаратом, в аэротермальных тепловых насосах, является воздушный испаритель, который оказывает влияние на параметры системы теплоснабжения при изменении текущих климатических условий. На ранней стадии проектирования таких устройств важно определить их оптимальные параметры.

В настоящей работе принят обобщенный метод оптимизации испарителя, когда целевая функция выражается в виде замкнутой системы уравнений, которая достоверно описывает процессы переноса в аппарате в широком диапазоне изменения параметров. Это позволяет рассмотреть такие вопросы, как влияние на оптимальные параметры функции цели конструктивных (высоты h , толщины δ и шага t ребер) и режимных (потери давления) факторов с учетом ограничений. В качестве функции цели при оптимизации испарителя используются абсолютные показатели оптимальности: объем, масса и коэффициент теплопередачи, характеризующие компактность, металлоемкость и тепловую эффективность аппарата.

Разработанная методика реализована в виде компьютерной программы в среде Matlab. Для поиска минимума функции цели используется стандартная функция `fmincon(...)`, которая вычисляет оптимальный вектор x , минимизирующий величину скалярной функции $f(x)$ многих переменных $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ [2]. Данная функция использует метод последовательного квадратичного программирования.

В качестве базовой поверхности теплообмена при проведении вычислительного эксперимента был взят пучок биметаллических ребристых труб, расположенных горизонтально в шахматном порядке по вершинам равностороннего треугольника и объединенных в змеевики гладкотрубными калачами.

В процессе оптимизации испарителя рассматривались влияние

следующих факторов: климатических особенности эксплуатации тепловых насосов; свойств рабочих веществ R22, R134a и R410A; ограничений на потерю давления; начального значения координаты оптимизируемого параметра при поиске экстремума целевой функции; параметров оптимизируемой поверхности теплообмена, несущей ребра.

В частности получено, что для периодов со средней суточной температурой воздуха не выше 0°C и температурой обеспеченностью 0,94 для холодного времени года, оптимальные параметры испарителя из биметаллических ребристых труб при постоянном тепловом потоке, температурном напоре на входе и ограничении на потерю давления не зависят от температуры атмосферного воздуха и могут достигаться при различных сочетаниях конструктивных параметров с отклонением от минимального массогабаритного показателя не более 5%. На рисунке приведены результаты вычислительного анализа для биметаллических ребристых труб с наружным диаметром 15 мм.

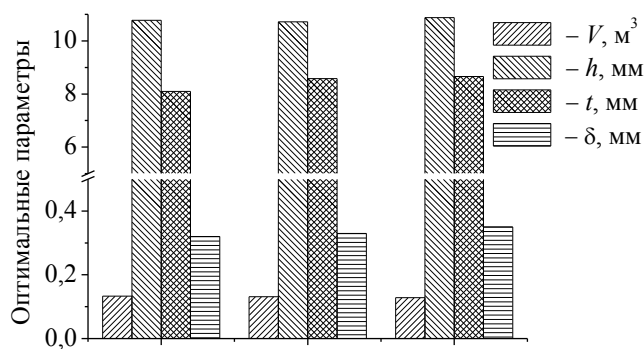


Рисунок – Влияние температуры атмосферного воздуха на оптимальные конструктивные параметры испарителя аэротермального теплового насоса

Однако при снижении температуры атмосферного воздуха энергетическая эффективность теплового насоса падает. Например, в системе горячего водоснабжения коэффициент преобразования теплового насоса с хладагентом R410A при уменьшении температуры воздуха с -10 до -20°C изменяется с 2,67 до 2,31.

В качестве биметаллической ребристой поверхности теплообмена испарителя целесообразно использовать трубы с минимальным диаметром для прохода хладагента, учитывая технологические возможности их изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воздушные тепловые насосы. – М.: Аква-Терм. – 2012. – 82 с.
2. López, C. P. Matlab optimization techniques. – Springer, 2014. – 292 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА ОРЕБРЕННОЙ ТРУБЫ И ОДНОРЯДНОГО ПУЧКА НА СВОБОДНО-КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН

Свободно-конвективный теплообмен при внешнем обтекании тел воздухом в последнее десятилетие XX и начале XXI века получил широкое применение в различных отраслях техники, промышленности, а также в энергетических установках, во многих теплонагруженных электробриборах. Использование режимов свободно-конвективного теплообмена обеспечивает энергосбережение, улучшение охраны окружающей среды и повышает в ряде случаев эксплуатационную надежность энергетических установок [1].

Теплообмен при свободной конвекции на ребренных поверхностях нагрева довольно сложен – происходит сопряженный теплообмен (есть радиационная и конвективная составляющие). Теоретические методы расчета и описания процессов теплообмена применяются только в простых случаях, для сложных форм теплоотдача должна рассматриваться в трехмерном пространстве, поэтому методы теоретического анализа в этом случае очень трудоемки. По этой причине для расчета естественно-конвективной теплоотдачи ребренных поверхностей используются экспериментальные критериальные зависимости.

На экспериментальной установке, разработанной в [2], были проведены исследования свободно-конвективного теплообмена для ребренной трубы с коэффициентом ребрения $\phi = 19,26$ и однорядного пучка из этих труб с шагом 64 мм.

Исследования показали, что увеличение угла наклона ребренной трубы и однорядного пучка сопровождается монотонным снижением теплоотдачи.

На рис. 1 приведены опытные значения конвективной теплоотдачи а) ребристой трубы и б) однорядного пучка с шагом 64 мм под различными углами наклона к горизонтальной плоскости γ в виде безразмерных чисел подобия Нуссельта (Nu) и Рэлея (Ra).

Из графиков на рис. 1 очевидно, что теплоотдача ребренной трубы, установленной под углом $\gamma = 15^{\circ}$, практически не отличается от горизонтального ее расположения, а теплоотдача однорядного пучка в этих положениях вовсе совпадает и совсем немного отличается от расположения пучка под углом $\gamma = 30^{\circ}$.

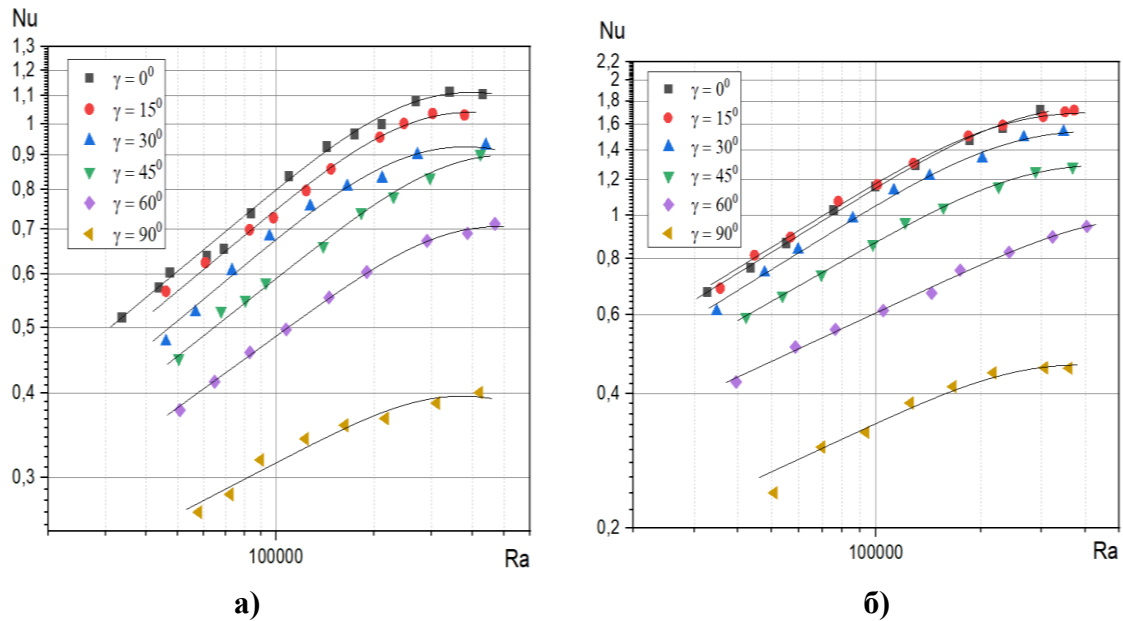


Рисунок 1 – Конвективной теплоотдача а) ребристой трубы и б) одиночного оребренного пучка с шагом 64 мм под различными углами наклона к горизонтальной плоскости γ

При переходе от горизонтального ($\gamma = 0^0$) в вертикальное положение ($\gamma = 90^0$) для оребренной трубы теплоотдача снижается в 2,4...2,75 раза в зависимости от числа Ra, а для однорядного пучка – в 2,8...3,3 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кунтыш В. Б., Самородов А.В. Исследование угла наклона круглоребристых труб на свободно-конвективный теплообмен шахматного пучка в неограниченном объеме воздуха // Инженерно-физический журнал, 2010. Том 83, № 2. – С. 338–344.
2. Сидорик Г. С. Экспериментальная установка для исследования свободно-конвективного теплообмена ребристых труб воздухоохлаждаемых теплообменников // Журнал «Политехнический молодежный журнал» МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – №2. – С. 1–7.
3. Джалурия Й. Естественная конвекция. Тепло- и массообмен. Пер. с англ. М.: Мир, 1983. – 400 с.

И. А. Левданский, асп.;
 А. М. Волк, доц. канд. техн. наук;
 Э. И. Левданский, проф., д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ КРУПНОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ВИХРЕВОМ ГАЗОВОМ ПОТОКЕ В ПЕРФОРИРОВАННОМ ЭЛЕМЕНТЕ.

В настоящее время опубликованы работы, где авторы предлагают удалять поверхностную влагу с частиц путем обдува их скоростным газовым потоком. Нами также разработан на уровне патента «Способ удаления влаги с поверхности частиц крупнозернистого материала». Для осуществления данного способа в цилиндрический или конический перфорированный элемент сверху падают через улитку тангенциально воздух, который в элементе приобретает вихревое движение. По центру сверху в элемент подают твердые частицы, имеющие на поверхности определенное количество влаги, которая удерживается за счет сил поверхностного натяжения. Частицы, попадая в газовый вихревой поток, начинают совершать так же вихревое движение и за счет большого градиента скорости газового потока начинают вращаться вокруг своей оси с высокой угловой скоростью. За счет высокой скорости вращения частиц вокруг своей оси возникает центробежная сила и значительная часть влаги срывается с поверхности частиц, что приводит к снижению влажности. Кроме того, за счет вращения частиц, возникает сила Магнуса, которая заставляет частицы двигаться в перфорированном элементе скачками, что так же позволяет снижать влажность частиц. Движение частиц скачками подтверждается рядом теоретических исследований. Нами также проведены как теоретические, так и экспериментальные исследования, подтверждающие движение частиц в элементе скачками. При теоретических исследованиях была составлена система уравнений, которая описывает движение частицы:

$$\begin{cases} m \frac{d\vec{v}}{dt} = \sum \vec{F}_i \\ \frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{v} \end{cases}$$

При решении данной системы учитывались:

1. Сила веса, направленная вдоль ось порфированного фильтровального элемента

2. Гидродинамическая подъемная сила, возникающая в результате неравномерного обтекания частицы газовым потоком
3. Сила вязкого сопротивления, возникающая при движении частицы с некоторой относительной скоростью в потоке газа
4. Сила адгезии смоченной частицы
5. Центробежная сила, действующая на частицу в вихревом потоке
6. Сила трения, возникающая при качении частицы по поверхности элемента

Расчеты по приведенным уравнениям для частиц полиэтилена с диаметром 2-2,5 мм показывает, что они действительно начинают отрываться от поверхности фильтровального элемента при средней расходной скорости газа в нем уже при 15 м/с.

При отрыве частицы от стенки и движении ее к центру подъемная сила уменьшается, и она за счет центробежной силы будет снова отбрасываться к стенке. Так как основной поток газа движется вдоль оси фильтровального элемента то движение в элементе будет скачкообразным.

Кроме теоретических расчётов были проведены и экспериментальные исследования. Для этого в вертикальный фильтровальный элемент изготовленный из тонкой пористой металлокерамики и имеющий в верхней части тангенциальную улитку для подачи воздуха, а в центр элемента подавались одиночные шарообразные частицы диаметром 3 и 4 мм изготовленные из восковых цветных мелков. Скорость газа на сечение элемента составляла 16–25 м/с. После каждого опыта фильтровальный элемент разворачивали в плоский лист. На развертке фильтровального элемента оставались следы контакта с шариками из воскового мелка и по этим следам определялась траектория частиц. После всех опытов обнаруживались следы частиц в виде отдельных точек с расстоянием между ними 50-90 мм.

Таким образом исследования показали, что частицы в фильтровальном элементе при определенных условиях будут двигаться скачками, что повышает степень удаления с них поверхностной влаги.

УДК 502.174.1

Е. В. Опимах, канд. техн. наук, ассист.; Н. С. Ушак, студ.;
А. Э. Левданский, зав. кафедрой, доц., д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО АЭРАТОРА ЧИСЛЕННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ

Равномерная аэрация жидкости представляет собой сложную задачу. Одним из возможных путей исследования этого явления является применение современных методов вычислительной гидродинамики.

Ранее авторами была разработана методика инженерного расчета конструкции пневматического аэратора, представляющего собой перфорированную трубку, изогнутую в виде спирали Архимеда в горизонтальной плоскости. Однако методика инженерного расчета не учитывала влияния диаметра трубки аэратора и расхода воздуха на равномерность аэрации. Поэтому цель работы заключалась в моделировании течения потока воздуха в аэраторе для определения оптимального диаметра трубки аэратора и расхода воздуха при которых равномерность аэрации будет достаточной, а затраты на эксплуатацию будут минимальны.

Была построена трехмерная модель аэратора. В принимаемой модели основные параметры (шаг спирали 0,07 м, длина трубки аэратора 4 м, количество отверстий аэратора 50 штук) оставались постоянными, а внутренний диаметр трубки и расход воздуха изменялись в зависимости от опыта.

В качестве расчетной области была выделена внутренняя полость аэратора и отверстий, в которых движется поток газа. Для численного решения расчетная область была разделена локально-сгущающейся адаптивной тетраэдральной сеткой. При расчете модельных задач использовались сетки, содержащие около 200 тысяч узлов и порядка 1 миллиона конечных элементов.

В результате численного моделирования были проанализированы профили распределения скорости газа и поле давления по объему аэратора при различных конструктивных и технологических параметрах агрегата. Для всех вариантов исследования были получены данные распределения локальных скоростей газового потока по диаметру выходного отверстия аэратора для различных отверстий по длине трубки аэратора.

Для каждого отверстия была рассчитана средняя скорость выходящего газового потока. Оценку качества аэрации производили по ве-

личине коэффициента вариации средних скоростей газовых потоков на выходе из отверстий по длине трубки аэратора.

Представлены графики изменения средней скорости в выходных отверстиях аэратора по его длине, для различных диаметров трубки аэратора при одинаковом объёмном расходе газа. Получены зависимости коэффициента вариации средних скоростей газа на выходе из отверстий аэратора от его начальной средней скорости (на входе в аэратор) для различных диаметров трубки аэратора. Так же были построены зависимости коэффициента вариации средних скоростей воздуха на выходе из отверстий аэратора от диаметра трубки аэратора при различных постоянных объёмных расходах газа.

Увеличение диаметра трубки аэратора приводит к сглаживанию средних скоростей газовых потоков в выходных отверстиях по длине трубки аэратора и к уменьшению коэффициента вариации средних скоростей воздуха на выходе из отверстий аэратора. То есть происходит более равномерная аэрация рабочей жидкости. Это может быть связано с уменьшением потерь давления потока и его выравниванию по длине трубки аэратора.

Добиться равномерной аэрации также можно путем увеличения расхода газа, подаваемого в аэратор. Это связано с тем, что гидравлические потери давления газа по длине трубки аэратора будут составлять незначительную часть от общего гидравлического сопротивления аэратора. Для трубок большего диаметра влияние расхода газа незначительно.

В результате выполнения данной научно-исследовательской работы был оптимизирован процесс аэрации рабочего объёма флотационного аппарата. При анализе результатов, полученных при выполнении работы, выявлены влияния диаметра трубки аэратора и объёмного расхода газа на равномерность процесса аэрации рабочего объёма флотационного аппарата. Предложены зависимости, с помощью которых можно произвести выбор оптимальных конструктивных и технологических параметров пневматического аэратора при изготовлении и эксплуатации флотационного аппарата. Использование приведенного метода оптимизации в отечественных разработках носит сдержанный характер по сравнению с зарубежной практикой. Хотя он позволяет увеличить эффективность конструирования новых и совершенствования существующих аппаратов, что особенно важно на современном этапе развития производства.

УДК 621.928.37+621.928.93

Д. И. Мисюля, ст. науч. сотр., доц., канд. техн. наук;
В. В. Кузьмин, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ЦИКЛОНА СЦН-40

Высокоэффективные циклоны являются весьма распространенными аппаратами в промышленности для улавливания твердых частиц из газового потока. Их широкое распространение обуславливается простотой конструкции, надежностью и способностью работать при высоких температурах и давлениях.

Целью данной работы являлось изучение аэродинамики потока в высокоэффективном циклоне СЦН-40, определение потерь давления в нем и сепарационной способности циклона.

Исследование проводилось с помощью коммерческого пакета вычислительной гидродинамики CFX. Движение сплошной фазы (т.е. воздуха) описывалось уравнениями Навье-Стокса для ньютоновской несжимаемой изотермической жидкости. Для решения данных уравнений использовалась осредненная по Рейнольдсу модель напряжений.

Было установлено, что в циклоне СЦН-40 с обычной выхлопной трубой и свободным выходом из нее потока на некотором расстоянии перед входом в выхлопную трубу внутренний вихрь делится на два вихря. Такое удивительное разделение вихря не происходит, если на выходе из циклона установлен улиточный или радиальный отвод. Также выявлено, что улиточный и радиальный отводы практически не влияют на распределение скоростей газового потока в основной сепарационной зоне циклона, за исключением распределения осевых скоростей в приосевой области.

Улиточный и радиальный отводы увеличивают гидравлическое сопротивление на 5,1% и 6,4% соответственно. Исследованные виды отводов также значительно увеличивают колебания потерь давления в циклоне во времени с 0,65% до 16,2% и 33,96% соответственно. Улиточный и радиальный отводы оказывают несущественное влияние на эффективность сепарации частиц в циклоне.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что улиточный и радиальный отводы не стоит рекомендовать для использования в циклоне СЦН-40.

УДК621.7:539.3

В. С. Францкевич, зав. кафедрой, доц., канд. техн. наук;
Е. А. Семенов, магистрант (БГТУ, г. Минск)

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ ВАЛКОВОГО ПРЕССА

Известно, что для получения спрессованных материалов с заданными характеристиками: прочностью, плотностью, сопротивлением ударным нагрузкам, истираемости и прочим необходимо создать заданное давление прессования, обеспечивающее межконтактное сцепление частиц и соответствующие прочностные показатели деталей и узлов пресса. Уровень действующих напряжений существенным образом зависит от формы сечений валков. Тщательный анализ напряженно-деформированных состояний сложных по форме валков возможен при использовании современных методов расчета, в основе которых лежит численное моделирование с помощью алгоритмов на базе метода конечных элементов. Использование численного моделирования позволяет быстро получать картину напряженно-деформированных состояний по сечению валка при различных граничных условиях, материалах и нагрузках, а также с высокой степенью достоверности выявить зоны с высоким уровнем напряжений.

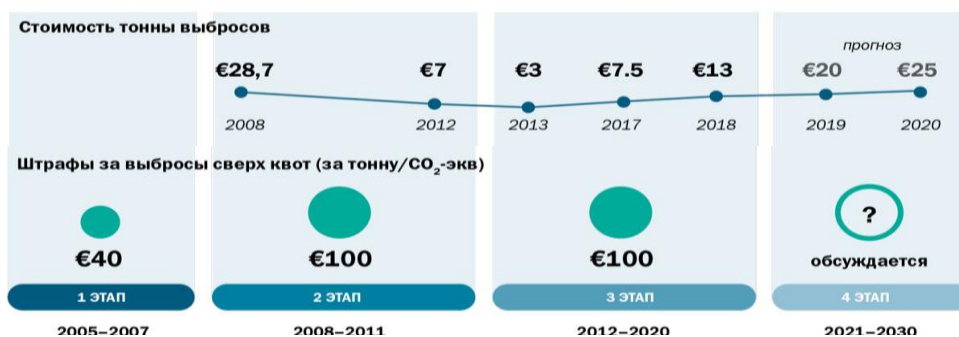
Основным рабочим узлом валкового пресса является валок. От конструкции валка зависят как технологические параметры пресса, так и ее надежность. В работе рассматривалось несколько вариантов конструкции валков с различным углом наклона конических ступеней. Для расчета деформаций и напряжений использован численный метод на базе метода конечных элементов, реализованный в виде компьютерной программы. Исходными данными для программы являются геометрические размеры рассчитываемой конструкции, физико-механические характеристики материалов. Программа позволяет учитывать симметрию конструкции, автоматически учитывать собственный вес и центробежные нагрузки от собственных масс вращающихся элементов, различные узловые и поверхностные нагрузки и граничные условия.

Результаты расчетов показали, все исследуемые варианты исполнения конических ступеней вала удовлетворяют условиям прочности и текучести, а оптимальным является 38° , так как при нем имеем наименьшее значение максимального эквивалентного напряжения по Мизесу и соответственно больший запас по прочности.

О СОЗДАНИИ ВНУТРИКОРПОРАТИВНОЙ ПРОГРАММЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ С ВКЛЮЧЕНИЕМ МЕХАНИЗМОВ ТОРГОВЛИ КВОТАМИ CO₂-ЭКВ. НА ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Объем только Европейского (без Китая и США) рынка CO₂-ЭКВ прогнозируется к 2020 году 2 трлн. дол. США, а цена тонны CO₂-ЭКВ-25 дол.США [1].

Таблица 1. Цифры стоимости и штрафов углеродного рынка ЕС



Для работы крупных химических предприятий по выполнению программ энергосбережения и снижению выбросов парниковых газов в рамках Парижского Соглашения предлагается схема, аналогичная освоенной США, Англией и ФРГ при борьбе с кислотными дождями[2].

Цель данной работы: снижение затрат холдинга за счет жесткого выполнения сводной внутрикорпоративной программы энергосбережения и как следствие, снижение выбросов CO₂ и получения дополнительных углеродных инвестиций от продажи выбросов парниковых газов.

Реализация по данным [2] выглядит следующим образом. Шаг 1 – уточняется потребление энергоресурсов (в т.у.т.) по холдингу в целом и по каждой компании. Шаг 2 – составляются топливно-энергетические балансы. Шаг 3 – составляются программы энергосбережения предприятий и сводная по холдингу в целом. (Например, экономия энергоресурсов на 15 % по тепловой энергии и на 5 % по электрической) за 5 лет. Шаг 4 – выполняется инвентаризация парниковых газов (ПГ), возможно только по CO₂ и CH₄. При необходимости проводится уточняющий локальный энергоаудит. Шаг 5 – по холдингу берется обоснованный и взвешенный план по снижению затрат на энергоресурсы допустим на 5 лет. Соответственно рассчитывается и

план по снижению выбросов ПГ. Отсюда вытекает идея данной схемы: каждое предприятие должно выполнить пятилетний план по энергосбережению году в т.у.т. и снижению CO₂ в тоннах.

Каждому предприятию холдинга выдается определенное количество разрешений на выбросы, каждое единичное разрешение дает право его владельцу на выброс 1 т CO₂. Поскольку выбросы CO₂ напрямую связаны со сжиганием топлива, распределение разрешений на выбросы и деятельность по сокращению выбросов должны быть основаны на объемах энергопотребления и энергоэффективности предприятий.

Таблица 2 – Схема внутрикорпоративной торговли квотами

Существующая программа энергосбережения холдинга (предприятия) на 2005-2008 г.г.					Углеродный след предприятий А, Б. для проведения внутрикорпоративной торговли квотами		
п/п	Энергосберегающие мероприятия	Затраты, евро	Экономический эффект, евро	Энергетический эффект, Гкал/кВт-ч	Углеродный эффект, тонны CO ₂ -экв.	Стоимость тонны выбросов, CO ₂ -экв., евро	Объем углеродных инвестиций, евро.
А							
Б							

Вывод. Предложенная методология позволит наиболее глубоко подготовить программу энергосбережения крупного предприятия с учетом цеховых нюансов энергоэффективности и даст опыт большей части специалистов разобраться в вопросах углеродоемкости предприятия и ее снижения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.Кудрина. Триллионы долларов из чистого воздуха [Электронный ресурс]. URL: <http://atomicexpert.com/page3178319.html> (дата обращения 20.01.2019).
2. Ануфриев, В. П. Эколого-экономическая оценка рационального использования энергетических ресурсов в системе Киотского протокола: дис. докт. экон. наук : 08.00.05 / В. П. Ануфриев. – Новосибирск, 2006. – 319 с.

А. Д. Насертдинова, асп.;
С. И. Вольфсон, проф., д-р техн. наук;
А. Д. Хусаинов, доц., канд. техн. наук;
А. М. Мустафин, магистрант;
И. Д. Насертдинов, студ. (КНИТУ, г. Казань)

МАСЛОБЕНЗОСТОЙКИЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ ВУЛКАНИЗАТЫ НА ОСНОВЕ СМЕСИ ПОЛЯРНОГО КАУЧУКА И АБС-ПЛАСТИКА

В настоящее время в резиновой промышленности одним из перспективных направлений является изготовление резиновых технических изделий из термоэластопластов, сочетающих свойства сшитых каучуков в условиях эксплуатации изделий со свойствами термопластов при температуре переработки ТПВ [1].

Значительное влияние на свойства ТПВ оказывает тип и концентрация вулканизирующей системы. Основным вулканизирующим агентом является сера, которая обычно используется в виде вулканизирующей системы совместно с ускорителями и их активаторами [2]. В связи с тем, что серная вулканизация обладает не достаточно высокой стойкостью к повышенным температурам и подвергается процессу подвулканизации, в данной работе представляло интерес исследовать вулканизацию алкилфенолформальдегидными смолами.

В качестве объектов исследования использовались композиции на основе бутадиен-нитрильного каучука и АБС-пластика при соотношении 70/30, соответственно. Вулканизацию проводили с использованием смоляной вулканизирующей системы. Проведенное исследование показало, что ТПВ вулканизированные с использованием смоляной вулканизирующей системы имеет высокие упруго-прочностные характеристики. Так же, было выявлено, что увеличение содержания соляной вулканизирующей системы более 8 мас.ч. приводит к ухудшению технологических свойств при переработки на экструзионной установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вольфсон, С.И. Динамически вулканизированные термоэластопласты: получение, переработка, свойства. М.: Наука, – 2004. – 170с.
2. Холден Д. Термоэластопласты / Холден Д., Крихельдорф, Х.Р., Куирк Р.П. / Пер. с англ. 3-го издания под ред. Б.Л. Смирнова - СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. - 720 С.

УДК66.02.

Л. В. Таранова, доц., канд. техн. наук (ТИУ, г. Тюмень)

АНАЛИЗ ПУТЕЙ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

Предприятия химической промышленности в целом и нефтехимической направленности, в частности, характеризуются значительными удельными энергозатратами, что обусловлено высокой энергоемкостью в связи непрерывным характером производства, крупнотоннажностью и необходимостью создания соответствующих температурных режимов. Это, в свою очередь, определяет актуальность решения задач энергосбережения и повышения энергоэффективности.

В работе рассмотрены возможные пути решения указанных задач на примере комплексной установки получения этана, этилена и производства полиэтилена с использованием методов системного подхода, термодинамического анализа и методологии пинч-анализа [1,2,3].

В рамках проведения пинч-анализа выполнен анализ структуры материальных и энергетических потоков технологической установки, определены теплофизические характеристики «горячих» и «холодных» потоков, построены и проанализированы составные тепловые кривые на температурно-энтальпийных диаграммах. Анализ результатов позволил выявить возможности более полного использования тепла имеющихся на установке потоков.

Расширенная зона рекуперации на диаграммах (область температур от $-98,8^{\circ}\text{C}$ до 105°C) свидетельствует о возможности покрытия энергозатрат собственными потоками при рациональном их использовании, а потребность во внешних теплоносителях отмечена в достаточно узком температурном диапазоне.

По результатам анализа предложены технологические и технические мероприятия по модернизации системы теплообмена на изучаемой установке и совершенствованию температурного режима работы колонных аппаратов.

Для установки пиролиза этана, как наиболее энергоемкого объекта в составе комплексной установки, для выявления ресурсов энергосбережения выполнен анализ ее теплотехнологической схемы с использованием элементов системного и термодинамического анализа.

В частности, выполнен структурный анализ внутренних и внешних связей; составлена информационная блок-схема анализа; выявлены и проанализированы тепловые и термодинамические параметры эффективности в соответствии с эксергетическим методом термоди-

намического анализа.

Анализ включал выполнение следующих этапов: обработка первичной информации с составлением расчетной балансовой теплотехнологической схемы; ее декомпозиция на основе анализа структуры связей; расчет тепловых и эксергетических КПД; оценка термодинамической эффективности и выявление резервов энергосбережения.

Исследование структуры балансовой схемы для изучаемой установки с выявлением взаимосвязей между ее элементами позволило определить контуры и образующие их потоки.

Расчет теплового и эксергетического КПД, как показателей степени эффективности теплотехнологических процессов позволил выявить возможности энерго- и ресурсосбережения применительно к установке пиролиза этана.

Расчетные значения показателей составили соответственно 85% и 58%, что указывает на целесообразность проведения модернизационных мероприятий на установке с целью более эффективного применения энергоресурсов.

На основе проведенного анализа предложена возможная схема рационального использования потенциала вторичных энергоресурсов при производстве этилена в составе комплексной установки.

Таким образом, в работе предложены технологические и технические мероприятия по решению задач энергосбережения и повышению энергоэффективности установки производства этан/этилена и полиэтилена путем совершенствования теплотехнических схем и рационального использования имеющихся энергоресурсов; в частности, предложен энергоэффективный вариант организации теплотехнологической схемы пиролиза этана с применением вторичных энергоресурсов в пределах комплексной установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жагфаров Ф.Г., Основные процессы глубокой химической переработки природного газа/ Ф.Г. Жагфаров, А.Б.Карпов, А.М. Козлов. М.: Букстрим, 2013.
2. Холоднов В.А. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов. Практическое руководство/ В.А. Холоднов, В.П. Дьяконов: СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2003.
3. Булатов И.С. Пинч-технология. Энергосбережение в промышленности. СПб: Страта, 2012.

УДК.664.653.122.; 664.653.124.

В. П. Янаков, ст. преп., канд. техн. наук
(ТГАТУ, Мелитополь)

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ЗАМЕСА ТЕСТА

Целью создания широкого ассортимента хлебопекарной, макаронной и кондитерской продукции является полное удовлетворение пищевых запросов населения. Она основывается на технических возможностях тестомесильных машин, специфике используемых технологий и потенциале применяемого рецептурного сырья. Дальнейшая организация процессов в технологической операции замеса теста даёт возможность определить наиболее эффективное сочетание процессных, технологических и товароведческих подходов: улучшение качественных показателей теста, повышение энергетической эффективности используемых технологий замеса и рост технологической надёжности работы тестомесильной машины.

Эти подходы в конечном итоге приводят к определению эффективности пищевых производств. В дальнейшем они суммарно определяют возможность управления качеством теста и осуществляют контроль энергозатрат в данный период времени, что в последующем формируют стоимость выпускаемой продукции. Обеспечение решения проблем реализуемых технологий в работе тестомесильной машины сводится к решению задачи "min-max":

$$\chi(\mathbf{d}) = \max_{A_1 \in \Xi} \cdot \min_{A_2 \in Z} \cdot \max_{A_3 \in J} \cdot \mathbf{g}_k(\mathbf{d}, \mathbf{z}, \xi) \leq 1, \quad (1)$$

где, $\chi(\mathbf{d})$ – эффективность хлебопекарных, макаронных и кондитерских производств, ед.; A_1 – границы варьирования качественных и энергетических показателей выпускаемой продукции, ед.; Ξ – функция гибкости стоимости выпускаемой продукции, шт/грн.; A_2 – границы варьирования стоимостных показателей выпускаемой продукции, грн.; Z – стоимость энергозатрат при реализации технологической операции замеса, грн/кВт.; A_3 – границы варьирования при управлении качеством выпускаемой продукции, ед.; J – технологически обоснованный уровень однородности теста выпускаемой продукции, кг/м³.; \mathbf{g}_k –возможность управления качеством выпускаемой продукции, ед.; \mathbf{d} – технические возможности изменения энергетического воздействия на рецептурное сырьё и тесто применяемой тестомесильной машины, ед.; \mathbf{z} –возможности изменения параметров процессов в применяемой технологии выпускаемой продукции, ед.; ξ – границы параметров применяемого

рецептурного сырья в технологии выпускаемой продукции, ед.

Последующее решение проблем реализуемых технологий пищевых производств даёт возможность определить экономическую эффективность выпускаемой продукции и сегмента её реализации на рынке хлебопекарных, макаронных и кондитерских изделий. Достижимое улучшение качественных показателей теста повышает энергетическую результативность тестоприготовления и технологическую надёжность тестомесильной машины при сохранении вероятности прогнозирования свойств теста.

Ключевым направлением усовершенствования технологии замеса является поиск новых технологических решений. При этом величина стоимости энергозатрат при реализации технологической операции замеса должна соответствовать получаемому уровню однородности теста. Результатом исследований действенного сочетания является обеспечение достаточных параметров реализации тестоприготовления: факторы пищевого производства, решение задачи "min-max" реализуемых технологий и показатели используемых технологий замеса теста;

Экспериментальная апробация выдвигаемых теоретических предпосылок даст возможность повысить эффективность применяемых технологий при изготовлении хлебопекарной, макаронной и кондитерской продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янаков В.П. Обоснование параметров и режимов работы тестомесильной машины периодического действия: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.18.12. – "Процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств" / В.П. Янаков. – Дн.: Мин-во образ. и науки Украины, Донецкий нац. Ун-т экономики и торговли им. М. Туган-Барановского, 2011. – 20 с.

УДК 621.318.1

Л.А. Башкиров, проф.; И.А. Великанова, доц.,
Г. П. Дудчик, доц. А.А. Глинская, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СИНТЕЗА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТА ВИСМУТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ ПРЕКУРСОРОВ РАЗЛИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВИСМУТА И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Твердофазным методом впервые синтезированы твердые растворы ферритов на основе феррита висмута BiFeO_3 , в которых ионы

висмута Bi^{+3} частично замещались ионами лантана и празеодима, а ионы железа Fe^{+3} – ионами кобальта Co^{+3} . Синтез проводился с использованием различных исходных соединений: оксидов соответствующих металлов, взятых в нужных стехиометрических соотношениях; взаимодействием феррита висмута и кобальтита празеодима PrCoO_3 ; взаимодействием силленита $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$ с оксидом железа Fe_2O_3 и взаимодействием твердых растворов на основе муллита $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ с оксидом висмута Bi_2O_3 .

Предварительный синтез твердых растворов на основе муллита состава $\text{Bi}_{1,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_4\text{O}_9$, $\text{Bi}_{1,6}\text{La}_{0,1}\text{Fe}_4\text{O}_9$ и $\text{Bi}_{1,8}\text{Pr}_{0,2}\text{Fe}_4\text{O}_9$ проводился также твердофазным методом путем взаимодействия соответствующих оксидов висмута, лантана, празеодима и железа. Исследован ряд их физико-химических и электромагнитных свойств, в том числе ИК-спектры, намагниченность, термо-эдс и термическое расширение. Полученные прекурсоры состава $\text{Bi}_{2-x}\text{Ln}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$ ($\text{Ln} - \text{La, Pr; } x = 0,2; 0,4$) использовались для получения твердых растворов сегнетомагнетиков на основе феррита висмута $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$, $\text{Bi}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{FeO}_3$ и $\text{Bi}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{FeO}_3$.

На основании данных рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопии установлены температурно-временные условия синтеза твердых растворов сегнетомагнетиков, проведен сравнительный анализ достоинств и недостатков использованных разновидностей твердофазного метода, установлено, что наиболее оптимальным способом получения однофазных образцов замещенного феррита висмута является взаимодействие прекурсоров $\text{Bi}_{2-x}\text{Ln}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$ с оксидом висмута. Рассчитаны параметры кристаллических решеток твердых растворов, которые хорошо согласуются с литературными данными для базового сегнетомагнетика – незамещенного феррита висмута BiFeO_3 . Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что предлагаемый и использованный в данной работе метод синтеза замещенных сегнетомагнетиков является наиболее перспективным для получения однофазных образцов твердых растворов на основе феррита BiFeO_3 , свободных от примесных фаз $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$ и $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$.

Исследован ряд свойств синтезированных твердых растворов сегнето-магнетиков. Результаты работы могут быть использованы при разработке материалов для электронной и химической промышленности, а также в приборостроении.

А. И. Клындюк, доц., канд. хим. наук;
Е. А. Чижова, доц., канд. хим. наук;
С. В. Шевченко, ассист., канд. хим. наук
А. В. Крищук, студ. (БГТУ, г. Минск)

ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ СЛОИСТОГО КОБАЛЬТИТА БАРИЯ

Перспективной основой для новых высокотемпературных термоэлектриков являются слоистые кобальтиты натрия Na_xCoO_2 и кальция $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$, а также недавно полученный и охарактеризованный слоистый кобальтит бария $\text{Ba}_2\text{Co}_9\text{O}_{14}$, являющийся представителем серии $\text{Ba}_{n+1}\text{Co}_n\text{O}_{3n+3}(\text{Co}_8\text{O}_8)$ ($n = 1, 2$).

В настоящей работе методом твердофазных реакций была получена керамика состава $\text{Ba}_{1.9}\text{M}_{0.1}\text{Co}_9\text{O}_{14}$ ($M = \text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca}, \text{Na}, \text{La}, \text{Pr}$), изучены ее кристаллическая структура, тепловое расширение, электропроводность (σ) и термо-ЭДС (S). На основании полученных данных рассчитаны значения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР, α), энергии активации электропроводности (E_A) и термо-ЭДС (E_S), а также фактора мощности (P) образцов.

Согласно результатам РФА, образцы $\text{Ba}_{1.9}\text{M}_{0.1}\text{Co}_9\text{O}_{14}$ были однофазными и имели структуру слоистого кобальтита бария $\text{Ba}_2\text{Co}_9\text{O}_{14}$ с параметрами $a = 5.692\text{--}5.703 \text{ \AA}$, $c = 28.73\text{--}29.03 \text{ \AA}$.

Полученные материалы являлись полупроводниками p -типа, причем в интервале температур 460–680 К наблюдался резкий (более чем на два порядка) рост электропроводности образцов, сопровождающийся значительным (в три-пять раз) уменьшением коэффициента их термо-ЭДС, что обусловлено изменением спинового состояния ионов кобальта в их структуре ($\text{Co}^{3+}(\text{LS}) \rightarrow \text{Co}^{3+}(\text{HS})$, переход диэлектрик \rightarrow диэлектрик). Вблизи комнатной температуры электропроводность твердых растворов $\text{Ba}_{1.9}\text{M}_{0.1}\text{Co}_9\text{O}_{14}$ ($M = \text{Na}, \text{La}, \text{Pr}$) была ниже, а кобальтитов $\text{Ba}_{1.9}\text{M}_{0.1}\text{Co}_9\text{O}_{14}$ ($M = \text{Sr}, \text{Ca}$) – выше, чем для базовой фазы $\text{Ba}_2\text{Co}_9\text{O}_{14}$, тогда как при высоких температурах электропроводность всех твердых растворов (за исключением $\text{Ba}_{1.9}\text{M}_{0.1}\text{Co}_9\text{O}_{14}$ ($M = \text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca}, \text{Na}, \text{La}, \text{Pr}$)) была выше, чем для $\text{Ba}_2\text{Co}_9\text{O}_{14}$. Значения энергии активации электропроводности керамики были максимальны в области средних температур (в области перехода диэлектрик \rightarrow диэлектрик) (0.470–0.884 эВ), и при высоких температурах были выше (0.128–0.389 эВ), чем при низких (0.119–0.166 эВ).

Значения коэффициента термо-ЭДС твердых растворов

$Ba_{1.9}M_{0.1}Co_9O_{14}$ были ниже, чем для незамещенного кобальтита бария, что сильнее проявлялось вблизи комнатной температуры; в области высоких температур значения коэффициента термо-ЭДС кобальтитов $Ba_2Co_9O_{14}$ и $Ba_{1.9}La_{0.1}Co_9O_{14}$ практически совпадали. Величина энергии активации термо-ЭДС керамики была невелика и изменялась в пределах 0.010–0.099 эВ.

Характер зависимостей $\sigma = f(T)$, $S = f(T)$ для исследованных материалов, а также тот факт, что $E_A > E_S$, позволяет заключить, что носителями заряда в них являются поляроны малого радиуса.

Значения ТКЛР керамики в области перехода диэлектрик \rightarrow диэлектрик скачкообразно возрастали, и при температурах ниже, в области и выше температуры перехода для керамики состава $Ba_{1.9}M_{0.1}Co_9O_{14}$ ($M = Ba, Sr, Ca$) изменялись в пределах $(10.9\text{--}17.3)\cdot 10^{-6} K^{-1}$, $(28.1\text{--}43.9)\cdot 10^{-6} K^{-1}$ и $(19.7\text{--}21.7)\cdot 10^{-6} K^{-1}$ соответственно.

Частичное замещение бария стронцием или кальцием в слоистом кобальтите бария привело к возрастанию температуры перехода диэлектрик \rightarrow диэлектрик, значение которой, определенное из температурных зависимостей истинных ТКЛР и E_A , составило 560 К, 570 К и 600 К для кобальтитов состава $Ba_2Co_9O_{14}$, $Ba_{1.9}Sr_{0.1}Co_9O_{14}$ и $Ba_{1.9}Ca_{0.1}Co_9O_{14}$.

Наибольшие значения фактора мощности в интервале температур 300–650 К наблюдались для $Ba_2Co_9O_{14}$, а при $T > 650$ К значения P всех образцов, кроме $Ba_{1.9}Ca_{0.1}Co_9O_{14}$, были выше, чем для $Ba_2Co_9O_{14}$, причем наибольшее значение фактора мощности показал твердый раствор $Ba_{1.9}La_{0.1}Co_9O_{14}$ – 3.8 мкВт/(м·К²) при 1000 К, что обусловлено высокими значениями его электропроводности и коэффициента термо-ЭДС.

Повышение температуры спекания керамики состава $Ba_2Co_9O_{14}$ и $Ba_{1.9}Na_{0.1}Co_9O_{14}$ привело к уменьшению ее пористости и, как следствие, сильному возрастанию электропроводности; так, электропроводность керамики состава $Ba_{1.9}Na_{0.1}Co_9O_{14}$, спеченной при 1293 К, при комнатной температуре была в 30 раз, а при 1050 К – в 3 раза выше, чем для керамики, спеченной при температуре 1273 К. В результате возрастания электропроводности керамики значительно увеличились значения ее фактора мощности, причем наибольшее значение фактора мощности в области перехода диэлектрик \rightarrow диэлектрик наблюдалось для образца состава $Ba_2Co_9O_{14}$, спеченного при 1293 К – 12.4 мкВт/(м·К²), а при высоких температурах – для твердого раствора $Ba_{1.9}Na_{0.1}Co_9O_{14}$, спеченного при той же температуре, – 5.50 мкВт/(м·К²) при 850 К.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма «Материаловедение и технологии материалов», задание 1.26.

Г.С. Петров¹, доц., канд. хим. наук;
 А.А. Глинская¹, ст. преп., канд. хим. наук;
 Н.Н. Лубинский², преп., канд. хим. наук;
 Л.А. Башкиров¹, проф., д-р хим. наук

(¹БГТУ, г. Минск; ²Университет гражданской защиты МЧС РБ, г. Минск)

О СЕНСОРНЫХ СВОЙСТВАХ НЕКОТОРЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СОСТАВА $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$

В последние годы усилился интерес к исследованию физико-химических свойств мультиферроиков (сегнетомагнетиков) на основе ферритов висмута (BiFeO_3 , $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ и др.), в которых одновременно существует ферромагнетизм и сегнетоэлектричество, что обуславливает взаимное влияние магнитных и электрических свойств друг на друга. Интерес к этим соединениям обусловлен наличием у них различных ценных для практики свойств. Наиболее исследованным сегнетомагнетиком является BiFeO_3 и в меньшей степени твердые растворы на его основе.

Целью настоящей работы являлся синтез и исследование сенсорных свойств твердых растворов состава $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ (где $x = 0,1$).

Синтез образцов проводили методом твердофазных реакций из соответствующих оксидов на воздухе при температуре 1073 К в течение 8 ч. Затем образцы размалывали, и их порошкообразную суспензию наносили на керамические подложки с последующим спеканием.

Сенсорные свойства толстых пленок оценивали по величине разницы электрических сопротивлений толстых пленок, измеренных на воздухе ($R_{\text{воздух}}$) и в воздушной среде, содержащей пары соответствующих органических веществ (этанол, бутанол, ацетон и др.) ($R_{\text{газ}}$):

$$S = \frac{R_{\text{газ}} - R_{\text{воздух}}}{R_{\text{воздух}}} \cdot 100\%,$$

где S – величина отклика.

Показано, что максимальные значения S получены при температурах (775-780)К, близких к ферромагнитной температуре Кюри (750 К) этих образцов. Например, максимальные величины откликов на пары различных веществ для образцов изменялись в пределах (225-250)% при содержании паров этанола до 2500 ppm, а паров бутанола – до 350 ppm. Для температур, соответствующих максимумам S , построены калибровочные графики концентрационных зависимостей $S = f(C)$.

О ТЕПЛОЕМКОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Знание теплоемкости материалов и ее зависимости от температуры необходимо при выполнении различных теплофизических расчетов с участием этих материалов. Все сказанное относится и к древесине.

Для древесины известно несколько десятков работ (начиная с 1896 и 1912 г.г.), посвященных экспериментальному определению ее теплоемкости (сухой и влажной) в достаточно широком интервале температур. На основании результатов этих работ (за исключением двух) сложилось мнение о том, что теплоемкость древесины не зависит от породы древесины (хотя заметные различия в составе, например, древесины хвойных и лиственных пород позволяют несколько скептически относиться к данному утверждению).

Целью настоящей работы являлось определение теплоемкости «абсолютно сухой» древесины некоторых хвойных и лиственных пород (заболонь сосны, дуб, ольха, осина, береза) методом тройного теплового моста (с погрешностью, не превышающей 2%) в интервале температур (230-345) К. Масса цилиндрических образцов составляла 0,5-0,9 г. Образцы предварительно охлаждали с помощью жидкого азота. Измерения проводили в режиме нагревания со скоростью 2К/мин.

Проведенная по методу наименьших квадратов математическая обработка экспериментальных данных позволила получить уравнения зависимости истинной изобарной удельной теплоемкости ($C_{p,кДж \cdot кг^{-1} \cdot K^{-1}}$) от температуры, например:

$$C_p = 0,11202 + 3,48 \cdot 10^{-3} T; \quad - \quad \text{дуб, (245-345) К}$$

$$C_p = 0,02228 + 4,51 \cdot 10^{-3} T; \quad - \quad \text{сосна, (230-290) К}$$

На зависимостях $C_p = f(T)$ для древесины ольхи и осины обнаружены небольшие аномалии (нелинейные участки) при температурах ниже 273К. Существование подобных аномалий обычно связывают с наличием в образцах древесины «связанной» воды, что приводит, например, к плавлению закристаллизованной при охлаждении воды (льда) при нагревании образцов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что теплоемкость древесины, в принципе, зависит от породы древесины.

Т. В. Галковский, асп.;
Н.В. Богомазова, доц., канд. хим. наук;
К.И. Ястреб, студ.; М. Жарский, проф., канд. хим. наук
(БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПРЕКУРСОРОВ НА ИОННОЕ НАСЛАИВАНИЕ СУЛЬФИДНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР

В настоящее время сульфид олова признан перспективным материалом оптоэлектроники, например, для создания базовых поглощающих слоев тонкопленочных солнечных элементов, КПД которых может достигнуть 25 %. Солнечные элементы на основе SnS призваны заменить тонкопленочные аналоги, содержащие токсичные и дорогостоящие материалы, в частности теллурид кадмия, диселенид меди, индия и галлия. Для фотовольтаики перспективной является гетероструктура, включающая широкозонный материал ZnS, CdS и поглощающий прямозонный слой SnS. С учетом повышенной экологичности и пониженной стоимости цинковая соль более рентабельна.

В рамках данной работы исследовались особенности формирования индивидуальных пленок и гетероструктур на основе сульфидов олова и цинка. В качестве основного метода формирования полупроводниковых сульфидных пленок использовался метод ионного наслаивания из растворов катионной обработки SnSO_4 , ZnSO_4 и растворов анионной обработки Na_2S или $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ при концентрации солей в диапазоне от 0,01 до 0,1 моль/л. Подложка в виде стеклопластины, покрытой пленкой ИТО, последовательно обрабатывалась в каждом из растворов-прекурсоров при комнатной температуре с последующим удалением избытка реагента в дистиллированной воде. Цикл наслаивания повторялся от 20 до 120 раз. Продолжительность стадий наслаивания и отмывки составляла 60 ± 10 с. Термическая обработка нанесенных слоев проводилась в воздушной среде при температуре 100°C в течении 30 мин.

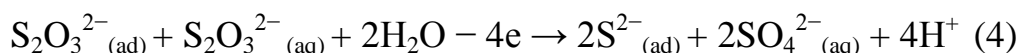
Исследование последствий замены сульфидного анионного прекурсора Na_2S на тиосульфатный прекурсор $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ связано с решением задачи повышения стабильности раствора наслаивания за счет уменьшения негативного влияния процессов гидролиза натриевых солей. Это позволяет, в свою очередь, повысить воспроизводимость процессов формирования наноразмерных функциональных пленочных структур.

Поскольку сульфид-ионы в разбавленных водных растворах практически полностью гидролизуются по I-ой ступени (уравнение 1)

и частично по II-ой ступени, то процесс наслаивания анионов в виде гидросульфид-ионов (уравнение 2) приходится проводить в щелочных растворах при pH 9-10, что может приводить к удалению поверхностных слоев при последующей катионной обработке в кислых растворах при pH порядка 2-3. Кроме того, углубление гидролиза по II-ой ступени изменяет состав раствора-прекурсора за счет удаления из него газообразного продукта (уравнение 3).



Тиосульфат-ионы значительно меньше подвергаются гидролизу, реально ограниченному I-ой ступенью, в виду достаточно большой константы диссоциации тиосерной кислоты. Кроме того, являясь достаточно активным восстановителем, тиосульфат-ион в водной слабокислой среде при наличии окислителя может участвовать в двухстадийной параллельной реакции диссоциации и окисления с образованием на поверхности подложки сульфид-ионов, образующих пленку формируемого сульфидного слоя (уравнение 4).



Исследование нами режимов ионного наслаивания сульфидных слоев Zn, Sn на поверхности указанных подложек показали, что при использовании сульфидного анионного прекурсора наблюдается повышенная шероховатость поверхности наслаиваемой пленки, повышенная скорость наслаивания (рисунок 1), а также пониженная воспроизводимость осаждения по толщине пленки. В частности, усредненная линейная скорость наслаивания с использованием раствора Na_2S составила более 2 нм/мин, а раствора $Na_2S_2O_3$ – менее 1 нм/мин.

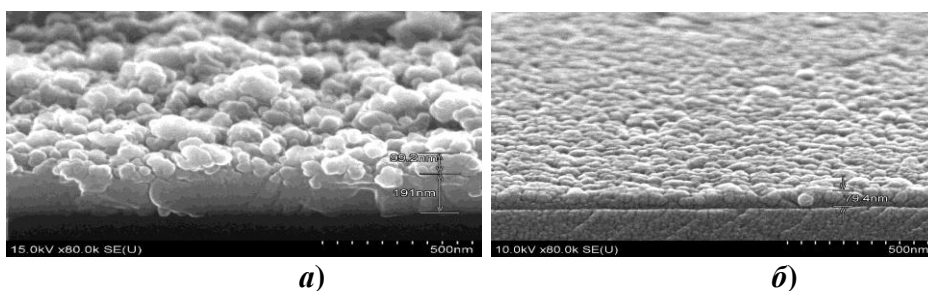


Рисунок 1 – Электронные микроизображения сколов гетероструктур 20 ZnS/20 SnS (а) и 60 ZnS/120 SnS (б), полученных при использовании сульфидного (а) или тиосульфатного анионного прекурсора (б)

Таким образом, показана предпочтительность использования тиосульфатного анионного прекурсора для формирования планарных наноразмерных пленок сульфидов Sn или Zn.

УДК 666.3-1(047.31)

В. А. Шелег, магистрант; И.И. Курило, канд. хим. наук;
С.Е. Баранцева, канд. техн. наук; Ю.А. Климош, канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ КОКИЛЬНОГО ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Работа посвящена разработке новых разделительных антипригарных покрытий на основе алюмофосфатного связующего с использованием различных наполнителей: алюмосиликатный шамот, гранитоидные отсеvy (отходы производства дорожного щебня, РУПП «Гранит», Микашевичи), базальт тонкомолотый (Пинский участок), диабаз (Нагорновский комплекс). Изготовление покрытий производился в две стадии: вначале изготавливалась алюмофосфатная связка (АФС) с мольным соотношением $P_2O_5:Al_2O_3 = 3:1$ [1], затем - разделительное покрытие. Разделительные покрытия (0,5-1 мм) получали путем нанесения смеси АФС и тщательно просеянного наполнителя (сито №0063) в мольном соотношении 1:2 на подложки из Сталь 3 или Сталь 45.

Исследование структуры поверхности полученных покрытий методом SEM (рисунок 1) показало, что они состоят из мелких зерен (1-10 мкм) и содержат поры различных размеров. Однородность покрытий уменьшается в ряду «диабаз → гранитоидная порода → базальт», поэтому использование первых двух более целесообразно.

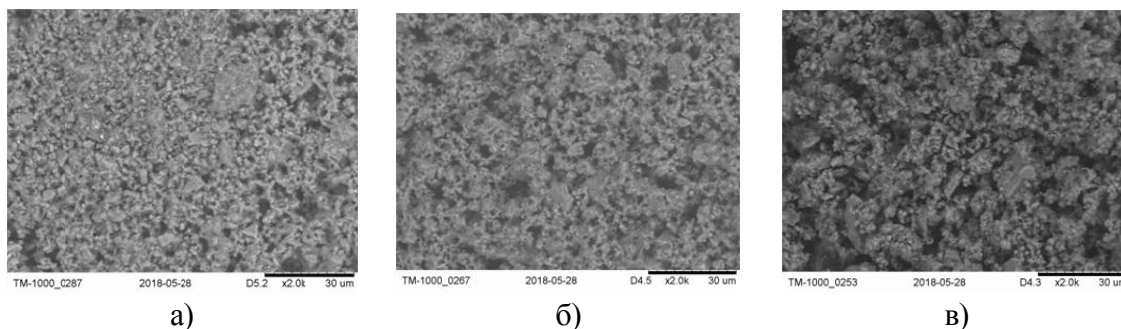


Рисунок 1 - Структура поверхности покрытий на основе алюмофосфатной связки с наполнителями: базальт (а), диабаз (б), гранотсев (в).

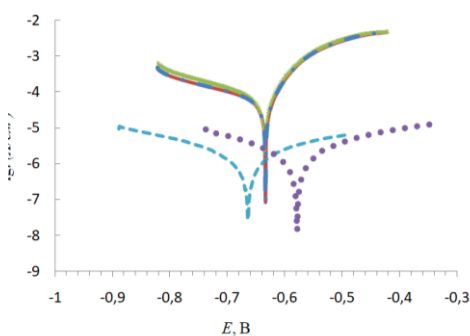
Электрохимические исследования (таблица 1) в растворе NaCl (3,5 %) показали, что при использовании в качестве наполнителя шамота и базальта значения бестокового потенциала практически не изменяются, однако плотности токов коррозии снижаются, защитный эффект составляет 88 %. Покрытия с использованием гранотсева и диабаза в отличие от других наполнителей обладали высоким защитным эффектом 99 %, плотность токов коррозии снижается на 2 порядка, но наблюдает-

ся смещение бестокового потенциала: при использовании гранотсева на -20 мВ, а диабаз - на +50 мВ (рисунок 2 а).

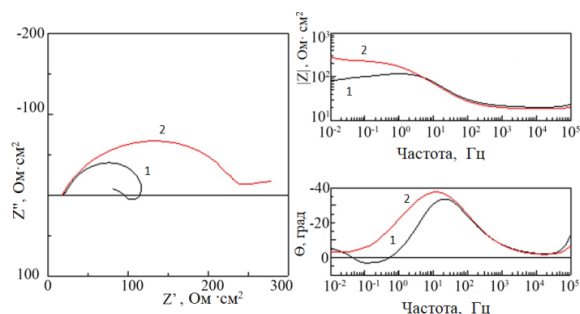
На диаграмме Найквиста (рисунок 2 б) для диабаз и шамота можно выделить две временные константы, при этом в области низких частот для шамота наблюдается константа индукционной природы, а для диабаз хвостовая часть спектра в области низких частот имеет резистивно-емкостной характер, что свидетельствует о большем сопротивлении образца с покрытием с диабазом и объясняется более компактной структурой покрытия. На диаграмме Боде (рисунок 2 б) в области низких частот модуль импеданса характеризует значения общего сопротивления поверхности образцов. Полученные данные показывают, что при использовании в качестве наполнителя диабаз общее сопротивление поверхности примерно в 4 раза больше, чем при использовании шамота.

**Таблица 1 – Результаты электрохимических исследований.
Номера образцов соответствуют кривым на рисунке 2 а.**

№ образца	Материал наполнителя	Плотность тока коррозии, i (А/см ²)	Защитный эффект, %
1	подложка	$6,07 \cdot 10^{-5}$	—
2	шамот	$7,21 \cdot 10^{-6}$	88
3	диабаз	$5,74 \cdot 10^{-7}$	99
4	гранотсев	$8,36 \cdot 10^{-7}$	99
5	базальт	$7,20 \cdot 10^{-6}$	88



а)



б)

Рисунок 2 - Потенциодинамические поляризационные кривые (а) и диаграммы Найквиста (слева) и Боде (справа) для стали с покрытием, содержащим шамот (кривая 1) и диабаз (кривая 2), полученные в 0,5 М растворе NaCl (б).

Таким образом, в результате проведенного анализа покрытий с разными наполнителями было установлено, что наиболее эффективным является покрытие с диабазом, так как это покрытие обладает достаточной адгезией с поверхностью стальной подложки, имеет наиболее однородную структуру и высокую коррозионную устойчивость (защитный эффект 99 %).

УДК 544.6.018.42

А. А. Касач, асп.; Д. С. Харитонов, ассист., канд. хим. наук;

И. М. Жарский, проф. канд. хим. наук;

И. И. Курило, доц. канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОКРИСТАЛЛИЗАЦИИ СПЛАВА МЕДЬ-ОЛОВО ИЗ СЕРНОКИСЛОГО ЭЛЕКТРОЛИТА

Сплавы меди с оловом обладают высокой износо- и коррозионной стойкостью, ковкостью, пластичностью. Ранее для электрохимического нанесения высококачественных покрытий сплавом Cu–Sn применялись электролиты на основе цианидов [1, 2], однако из-за их высокой токсичности, сложности утилизации и необходимости применения дорогостоящих водоочистных сооружений использование цианистых электролитов несовместимо с современными экологическими стандартами. В качестве заменены цианистым электролитам для осаждения покрытий Cu–Sn были разработаны электролиты на основе тартрат-, пирофосфат-, флуоборат-, сульфат- и оксалат-ионов. Среди перечисленных сульфатные электролиты достаточно легко утилизируются, что является их несомненным преимуществом. Однако для получения высококачественных покрытий они требуют введения в свой состав специальных органических добавок. В данной работе исследовали совместное влияния добавок тиомочевины и N–октилпиридиний бромида на протекание процесса электроосаждения сплава Cu–Sn из сернокислого электролита, а также на качество и структуру формируемых покрытий.

В качестве базового использовался электролит следующего состава, г/дм³: CuSO₄·5H₂O — 40, SnSO₄·H₂O — 40, H₂SO₄ — 100.

Электрохимическое осаждение сплава Cu–Sn осуществляли при катодной плотности тока 1.7 А/дм² (потенциал электроосаждения составлял –0.05 В (СВЭ)). В электролите без добавок (рисунок а) в процессе катодного электроосаждения формируются матовые, крупнокристаллические покрытия с розовым оттенком, характеризующиеся большим количеством дефектов, наличие которых обусловлено неконтролируемым разрастанием кристаллов сплава. Введение в электролит композиции добавок тиомочевины и N–октилпиридиний бромида в количестве 0.005 г/дм³ 0.015 г/дм³ соответственно приводит к уменьшению размера зерен в ходе электрокристаллизации, что, вероятно, связано с протеканием процессов преимущественного формированием новых центров кристаллизации, а не их роста (рисунок б).

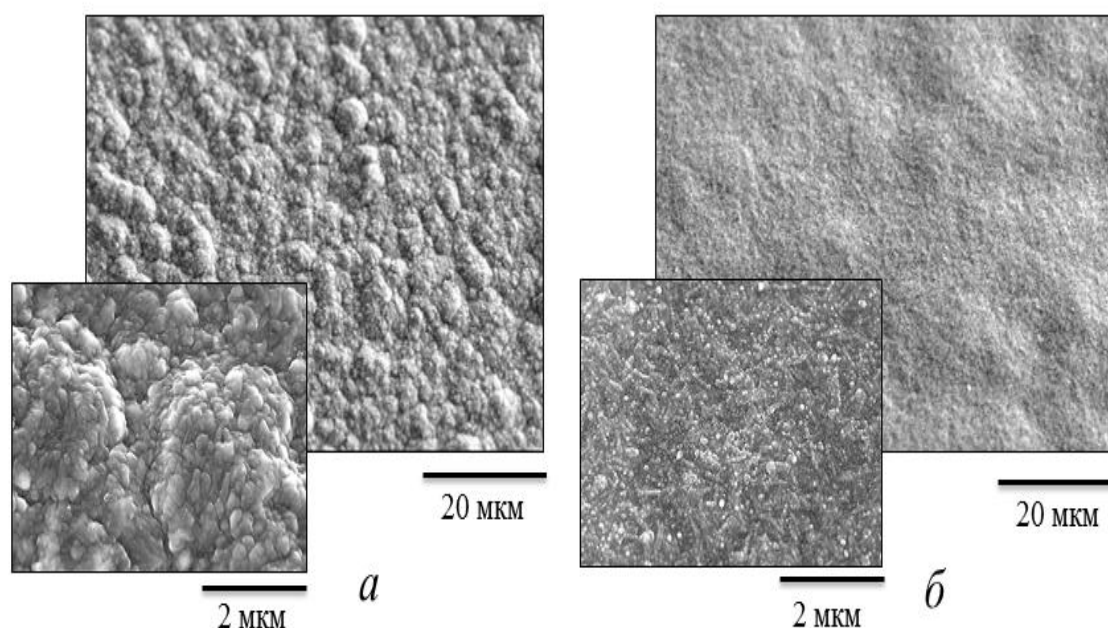


Рисунок – Микрофотографии покрытий сплавом Cu–Sn, полученных при потенциале осаждения -0.05 В из электролита без добавок (а) и с композицией добавок 0.005 г/дм³ тиомочевины и 0.015 г/дм³ N–октилпиридиний бромида (б)

Таким образом, использование для осаждения сплавов Cu–Sn экологически безопасного сульфатного электролита с добавкой тиомочевины и N–октилпиридиний бромида в количестве 0.005 и 0.015 г/дм³ соответственно позволяет получать качественные мелкозернистые покрытия желтой бронзы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касач, А. А. Влияние сонохимической обработки на процесс электроосаждения сплава Cu-Sn из щавелевокислого электролита / А. А. Касач, Д. С. Харитонов, С. Л. Радченко, И. М. Жарский, И. И. Курило // Журнал прикладной химии. – 2018. – Т. 91. – №. 4 – С. 522–527.
2. Касач, А. А. Влияние сонохимической обработки на процесс электроосаждения сплава Cu-Sn из щавелевокислого электролита / А. А. Касач, Д. С. Харитонов, С. Л. Радченко, И. М. Жарский, И. И. Курило // Журнал прикладной химии. – 2018. – Т. 91. – №. 4 – С. 192–198.

П. Б. Кубрак, доц., канд. хим. наук;
А.А. Черник, зав. кафедрой, канд. хим. наук;
Я. А. Савко, студ. (БГТУ, г. Минск)

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТОКОВЫХ РЕЖИМОВ

Кроме механических методов для производства гладких, обработанных поверхностей также используются электролитические и химические технологические процессы. Потенциальные преимущества данных методов очевидны: будучи похожими в применении на анодирование и гальванопокрытие, они могут одновременно применяться на одной поточной линии, и при этом могут полностью заменить механическую обработку; они подходят для обработки больших объемов продукции, при этом затраты труда существенно снижаются, в особенности это касается деталей, не подходящих для обработки с помощью автоматических полировальных (шлифовальных) станков. Процесс электрохимического полирования постоянным током изучен достаточно подробно. С появлением современных импульсно-реверсных источников тока использование нестационарных режимов электролиза получило широкое распространение в гальваническом производстве. Однако, в настоящее время, процесс электрохимического полирования в нестационарных режимах изучен мало. В связи с этим, в работе проведены комплексные исследования процесса электрополировки сплавов алюминия с использованием импульсного и реверсного токовых режимов в широком ряду электролитов.

Исследования проводили с использованием электрохимической ячейки с помещенными в нее титановыми катодами и полируемым образом из сплава алюминия АД31. Длительность анодного импульса изменяли в пределах от 0,01 до 10 с. Соотношение длительностей импульса и паузы (или катодного импульса при реверсивном токе) составляло 10:1. Температура электролита поддерживалась в термостате и составляла $80 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Полированные образцы оценивали по внешнему виду, профиль поверхности образцов на профилографе-профилометре Абрис ПМ7. Блеск поверхности измеряли с помощью блескомера фотоэлектрического БФ5М-45/0/45.

Исследования процесса полирования алюминия в различных электролитах показали, что наибольшую декоративность поверхности можно получить при использовании следующих рецептур: H_3PO_4 – 68 % мас., H_2SO_4 – 7 % мас., CH_3COOH – 17 % мас., глицерин – 8 % мас.

(универсальный электролит); H_3PO_4 – 1200 г/л, моноэтаноламин – 20-70 г/л; H_2PO_4^- – 1200 г/л, триэтаноламин – 50 г/л. Электролиты из смеси кислот с добавками уротропина, лимонной кислоты не позволяли получать блестящую сглаженную поверхность. Фосфорнокислый электролит без добавок не обеспечивал достаточной стабильности напряжения и анодного потенциала при полировке, поверхность образца часто «запиралась» образующимся анодным оксидом.

Из трех указанных электролитов наименее агрессивным оказался фосфорнокислый с добавкой моноэтаноламина. Величина съема металла при электролизе в стационарном режиме в течение 5 минут составила 3,1 мкм против 5,6 мкм для электролита из смеси кислот и 13,6 для раствора с добавкой триэтаноламина. Во всех электролитах в реверсном режиме полирования наблюдался увеличение съема металла в 2-7 раз по сравнению со стационарным, что может быть обусловлено катодным разрушением защитной пленки, сформированной за анодный полупериод.

Установлено, что наибольшее выравнивание поверхности образцов происходит при использовании импульсного режима (см. табл.) со временем импульса 0,1 с и времени паузы 0,01 с. Наиболее вероятно, такая длительность паузы обеспечивает необходимое диффузионно-конвективное перераспределение по поверхности образцов вязких анодных продуктов, защищающих углубления от растравливания.

Таблица - Параметры шероховатости образцов, полированных в электролите с добавкой моноэтаноламина

Режим	R_a , мкм	R_z , мкм	R_{max} , мкм
Стационарный	0,231	0,736	1,574
Импульсный	0,074	0,473	0,796
Реверсный	0,209	0,892	1,240
Исходный образец	1,111	3,136	5,574

Комплексными исследованиями определено, что наиболее оптимальным с точки зрения качества полируемой поверхности, доступности и дешевизны компонентов, экономичности процесса является электрополирование в фосфорнокислом электролите с добавкой 50 г/л моноэтаноламина в импульсном режиме электролиза. Степень блеска поверхности при этом увеличивается от 35,7% до 64,8% относительно серебряного зеркала.

П.Б. Кубрак, доц., канд. хим. наук;
А.А. Черник, зав. кафедрой, канд. хим. наук;
В.А. Корнева, студ. (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ МЕДИ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЭЛЕКТРОЛИЗА

Электрохимическое полирование применяется для полировки изделий с труднодоступными для механической обработки местами, обеспечивая снижение шероховатости и блеск всей поверхности изделия. Качество электрохимического полирования зависит от величины плотности тока, температуры электролита, состава раствора и времени электролиза [1]. Перспективным направлением является применение нестационарных режимов электролиза, позволяющих интенсифицировать процесс обработки, снизить расход материалов и энергетических ресурсов [2].

С целью изучения процесса электрополировки изделий с применением нестационарных токовых режимов электролиза проведены комплексные исследования в электролитах следующего состава: H_3PO_4 – 68 % мас., H_2SO_4 – 7 % мас., CH_3COOH – 17 % мас., глицерин – 8 % мас. (универсальный электролит); H_3PO_4 – 1200 г/л, моноэтаноламин – 20-70 г/л; H_3PO_4 – 1200 г/л, триэтаноламин – 50 г/л.

Электрохимическое полирование проводилось в трех режимах: стационарном, импульсном при соотношении времени импульса и времени пауза 10:1 и реверсном при соотношении времени анодного полупериода к времени катодного полупериода 10:1 при плотностях тока от 5 до 20 А/дм². Образцами полируемых изделий служили медные пластинки толщиной 0,7 мм. Качество полировки оценивалось визуально и с помощью блескомера фотоэлектрического БФ5М-45/0/45 относительно серебряного зеркала. Профиль поверхности изучался на профилографе-профилометре Абрис ПМ7 при диапазоне измерения по Ra 0,4 – 3,2, отсечке шага 0,8 мм, длине трассы измерений 4,80 мм.

Определено, что использование нестационарных режимов позволяет значительно (более чем в 1,9 раза) снизить съем металла при полировке. Вероятно, в момент паузы при импульсном режиме или при катодном полупериоде реверсного режима происходит перераспределение продуктов анодного растворения из выступов во впадины. В результате, наиболее выступающие неровности обнажаются, а углубления оказываются более надежно защищены вязкой пленкой из

продуктов растворения образца. Необходимо отметить, что процесс полировки меди и ее сплавов осуществляется без дополнительного нагрева электролита.

Профилометрическими исследованиями установлено, что полировка во всех исследуемых электролитах снижает шероховатость поверхности образцов в среднем на 2 класса. Применение нестационарных режимов электролиза позволяет получать более сглаженный рельеф по сравнению со стационарным. Например, при использовании электролита с моноэтаноламином происходит снижение показателя шероховатости R_a с 0,886 до 0,213 мкм. Наиболее эффективным в этом случае является применение импульсного режима со временем импульса, равном 1 с.

Определено, что при полировании в стационарном режиме во всех электролитах блеск поверхности получается приблизительно одинаковым и достигает 19,5% по отношению к серебряному зеркалу. Импульсный режим электролиза в ряде случаев позволяет получать более блестящую поверхность. Наиболее блестящая поверхность формируется при полировании в электролите с триэтаноламином в импульсном режиме с длительностью импульса 1 с (25,7%).

Исследование ресурса работы электролита показало, что при накоплении ионов меди в электролитах полирования до 25 г/л происходит выравнивание величин выходов по току анодного растворения меди и катодного осаждения металла. Качество полирования при этом остается неизменным.

Таким образом, комплексными электрохимическими исследованиями установлено, что для обработки меди и ее сплавов наиболее оптимальным по экономическим критериям и качественным характеристикам полируемой поверхности является процесс полирования в нестационарном режиме в электролите с добавкой моноэтаноламина.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грилихес С.Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов/ под ред. П.М. Вячеславова. – Изд. 5-е, перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ение, 1983. – 101 с.
2. Костин Н.А. Импульсный электролиз: монография/ Н.А. Костин, В.С. Кублановский, А.В. Заблудовский. – Киев: Наукова думка, 1989. – 168 с.

УДК 621.793.3(043.3)

Н.Е. Акулич, ассист.; И.М. Жарский, проф., канд. хим. наук;
Н.П. Иванова, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

БЕСХРОМОВАЯ ПАССИВАЦИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

На замену токсичных растворов пассивации на основе солей шестивалентного хрома, используемых для защиты от коррозии цинка, кадмия и сплавов на их основе, разработаны растворы на основе соединений Cr(III). Однако в большинстве случаев хромитные пленки не обладают требуемой защитной способностью и нуждаются в дополнительной последующей обработке. В связи с этим большинство проводимых исследований по разработке защитных конверсионных покрытий направлено на получение альтернативных покрытий, полностью свободных от хрома.

Настоящая работа направлена на углубленное исследование коррозионного поведения и определения сопротивления конверсионных покрытий на основе молибдена, полученных электрохимической пассивацией в растворе молибдата натрия на гальваническом цинке.

Конверсионные покрытия, содержащие молибден в пределах 1–5 масс %, были получены с применением катодной поляризации (плотность тока составляла 0,1; 0,3 и 0,5 А/дм²) в растворе, содержащем 0,5 М Na₂MoO₄ с добавлением H₃PO₄ (рН=3,0). Температура раствора 21 ± 1 °С, время осаждения 1 мин и 5 мин.

Наибольшей коррозионной стойкостью в растворе хлорида натрия обладают конверсионные покрытия, полученные при плотности тока 0,3 А/дм² в течение 1 мин, что подтверждается как электрохимической импедансной спектроскопией EIS, так и поляризационными измерениями. Сопротивление конверсионной пленки составило 2700 Ом·см², плотность тока коррозии 0,17 мкА/см². Возможно, это связано с получением на поверхности цинка сплошного однородного, структурированного без трещин и пор конверсионного покрытия, состоящего из игольчатых кристаллитов и обладающего лучшими барьерными свойствами, что предотвращает проникновение коррозионного раствора к цинковому покрытию.

В.Г. Матыс, доц., канд. хим. наук;
В.А. Ашуйко, доц., канд. хим. наук;
О.С. Блажевич, студ. (БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НИКЕЛЯ, КОБАЛЬТА И МАРГАНЦА НА ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЦИНКЕ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ МОЛИБДАТ-ФОСФАТНЫХ РАСТВОРОВ

Цель работы – повышение защитных свойств молибдатных конверсионных покрытий на цинке. В работе изучено влияние добавок ионов Ni^{2+} , Co^{2+} и Mn^{2+} в молибдат-фосфатный раствор пассивации на защитные свойства конверсионных покрытий, получаемых на гальваническом цинке методом погружения. Концентрации добавок ионов металлов составляли 1 и 10 мМ. Защитные свойства получаемых покрытий исследовались методами капли, поляризационных кривых и методом электрохимической импедансной спектроскопии.

Добавление ионов Ni^{2+} увеличивает блокирующие свойства пассивных пленок. При концентрациях Na_2MoO_4 больших 0,1 и 0,15 блокирующие свойства пленок возрастают более чем в 2 раза при добавлении 10 мМ ионов Ni^{2+} . Однако плотности тока коррозии при введении ионов Ni^{2+} в раствор увеличиваются, что указывает на снижение защитных свойств покрытий в связи с возможным образованием в покрытии металлического никеля.

Добавки ионов Co^{2+} приводят к повышению блокирующих свойств покрытий при 10 мМ примерно на 30 % и к снижению токов коррозии примерно на 20 %.

Добавки ионов Mn^{2+} при низкой концентрации 1 мМ повышают блокирующие свойства покрытий примерно на 50%, а при высокой концентрации 10 мМ снижают – примерно на 50%. Изменение плотностей токов коррозии частично коррелирует с данными метода капли. При введении 1 мМ ионов Ni^{2+} в раствор пассивации плотность тока коррозии покрытий снижается примерно на 20%, а при введении 10 мМ – практически не меняется.

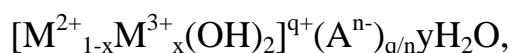
Добавки ионов Co^{2+} и Ni^{2+} снижают сопротивление получаемых конверсионных покрытий, согласно импедансным измерениям, что может быть связано с образованием более пористых, либо более тонких покрытий в присутствии добавок ионов металлов в растворе.

УДК 546.05

А.В. Кешин, асп.; А.А. Черник, доц., канд. хим. наук, зав. кафедрой
(БГТУ, г. Минск)

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОИСТЫХ ДВОЙНЫХ ГИДРОКСИДОВ

Слоистые двойные гидроксиды (СДГ, LDH – Layered double hydroxides) представляют собой группу неорганических слоистых соединений основного характера. Обобщённая формула которых может быть представлена в виде:



где M^{2+} и M^{3+} – катионы 2-х и 3-х валентных металлов, A^{n-} – межслоевые анионы, x – соотношение $M^{3+}/(M^{2+}+M^{3+})$ которое варьируется от 2 до 4.

В последние годы эти материалы получили значительное внимание в связи с их специфической структуры с различными потенциальными приложениями, такими как катализаторы, Предшественники катализаторов смешанных оксидов металлов, адсорбенты, аниониты, антипирены [1].

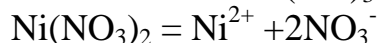
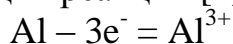
Важной особенностью СДГ является отсутствие поперечных связей между катионными слоями [2], что позволяет расстояние между слоями расширяться или сжиматься, что позволяет использовать широкий диапазон межслойных анионов. Таким образом, A^{n-} может быть любым, например, галогениды (фториды, хлориды и т. д.), оксоанионы (карбонаты, нитраты и т. д.), оксо- и полиоксометаллаты (дихроматы, $(Mo_7O_{24})^{6-}$, $(V_{10}O_{28})^{6-}$ и т. д.).

Существует большое разнообразие методов синтеза для получения LDH, таких как соосаждение, золь-гель метод, гидролиз мочевины и гидротермальный синтез [3].

В данной работе применялся метод, основанный на гидротермическом синтезе слоистых двойных гидроксидов их водных сред, однако в отличии от описываемых в литературе, в качестве источников ионов Al^{3+} использовался металлический алюминий марки АД1 и АД31.

В качестве реакционной среды для синтеза и формирования на поверхности пленки из СДГ, использовался раствор, содержащий моль\л: $Ni(NO_3)_2$ – 0,025 NH_4NO_3 – 0,01, обработка проводилась при $pH=7$ и температуре $90-100^{\circ}C$ в течении 1-5 часов, значение pH раствора доводилось до необходимого значения путем введения в реакционную смесь NH_4OH .

В результате протекающие на поверхности металла процессы можно представить в виде следующих реакций [4]:



На поверхности формируется брукситоподобная слоистая структура, обладающая низкой кристалличностью, на поверхности полученной пленки могут образовываться крупные глобулы, которые включаются в структуру покрытия, что связано с протеканием синтеза СДГ в объеме реакционной смеси.

Анализ рентгеновских дифрактограмм образцов полученных в течении 4 часов, в приведённой выше реакционной смеси показал, что в составе полученной пленки присутствуют фазы метагидроксида алюминия, оксида алюминия, нитрата и оксида никеля.

Электрохимические исследования протекания коррозионных процессов сплава марки АД31 в 3.5% растворе хлорида натрия, методом электрохимической частотной модуляции показали, что применение СДГ в качестве индивидуальных конверсионных покрытий может в значительной степени снизить скорость коррозии металла. Численно средняя скорость коррозии, полученная на основании 6 часового исследования, составила $3,47 \cdot 10^{-4}$ мм/год.

ЛИТЕРАТУРА

1. X. Wang, C. Yan, A. Sumboja, J. Yan, P.S. Lee, Achieving high rate performance in layered hydroxide supercapacitor electrodes, *Advanced Energy Materials*. 4 (2014) 1–7.
2. M. Li, J.P. Cheng, J. Wang, F. Liu, X.B. Zhang, The growth of nickel-manganese and cobalt-manganese layered double hydroxides on reduced graphene oxide for supercapacitor, *Electrochimica Acta*. 206 (2016) 108-115.
3. M.V. Bukhtiyarova, A review on effect of synthesis conditions on the formation of layered double hydroxides, *Journal of Solid State Chemistry*
4. Frederick L.Theiss, Godwin A.Ayoko, Ray L.Frost, Synthesis of Layered Double Hydroxides Containing Mg^{2+} , Zn^{2+} , Ca^{2+} and Al^{3+} Layer Cations by Co-precipitation Methods - a Review, *Applied Surface Science*

М.Н. Босьяков, доц., д-р техн. наук;
А. Н. Моисеенко, науч. сотр.;
А. А. Грицук мл. науч. сотр.
(ФТИ НАН Беларуси, г. Минск)

КИНЕТИКА ФОРМИРОВАНИЯ НАСЫЩЕННОГО СЛОЯ ПРИ ЦЕМЕНТАЦИИ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

Наибольшее распространение в промышленности получили процессы газовой цементации (атмосферной или вакуумной). Атмосферная цементация выполняется в среде эндогаза (CO +остатки горения CH_4), вакуумной – в C_2H_2 , поскольку ацетилен эффективно диссоциирует на поверхности разогретых деталей. При их использовании экономически затратно получать слои глубиной более 3 мм. Предложен метод вакуумной ионной цементации (ИЦ), который может упростить получение глубоких цементованных слоев. Преимуществом ИЦ является простота управления насыщением с помощью изменения электрических параметров тлеющего разряда и состава газовой среды. Цель работы – изучить влияние C_2H_2 и CH_4 на формирование цементованного слоя на сталях Ст20 и 25ХГТ.

Проведены исследования параметров науглероженных слоев (глубины, распределения микротвердости по глубине, твердости поверхности [1]), полученных при ИЦ на образцах из конструкционных сталей 20 и 25ХГТ. ИЦ проводили при температуре 930°C в течение 12 ч для образцов из стали 20 в газовой смеси C_2H_2 , H_2 и Ar, а 25ХГТ – в смеси CH_4 , H_2 и Ar. Подача ацетилена осуществлялась циклически, а метана – непрерывно. При газовой и вакуумной цементации образование углерода происходит вследствие термической диссоциации углеродсодержащих соединений, при ИЦ имеет место дополнительная диссоциация таких соединений вследствие электронного удара. Это существенно повышает «выход» свободного углерода, тем самым увеличивая углеродный потенциал насыщающей среды. Повышенная концентрация углерода может привести к образованию в приповерхностном слое сплошного цементита (либо в виде сетки). Поэтому процесс ионного насыщения проводился в циклическом режиме: ацетилен подавался в камеру в течение некоторого определенного промежутка времени (активная фаза), а затем на некоторое время подача ацетилена прекращалась (пассивная фаза). Во время пассивной фазы происходит так называемое диффузионное рассасывание углерода, что приводит к снижению его концентрации в приповерхностном слое. После ИЦ закалка стали 20 проводилась от температуры 820°C в

воду, стали 25ХГТ - от 860 °С в масло с последующим отпуском при 200°С в течение 2 ч.

После ИЦ и термообработки формируется мартенситная структура материала. Среднее значение твердости слоя для стали 20 составило HRC 60, для стали 25ХГТ - HRC 59. Толщину слоя определяли с использованием микротвердомера AFFRI NVDM8 с нагрузкой на индентор 0,2 кгс, за эффективную толщину упрочненного слоя принимали слой до твердости 500HV_{0,2}. Глубина науглероженного слоя от поверхности образца, составила около 2200-2300 мкм. Эффективная толщина упрочненного слоя на стали 20 составляет около 1800 мкм, на стали 25ХГТ - около 3400 мкм (рисунок 1).

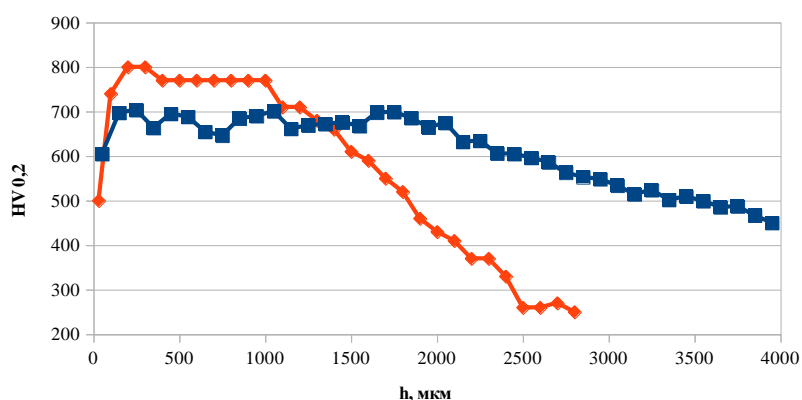


Рисунок 1 - Распределение микротвердости по глубине науглероженного слоя образцов из сталей 20 (1) и 25ХГТ (2) после ИЦ и термообработки

У поверхности образцов наблюдается зона около 100-150 мкм с низкой микротвердостью, что связано с обезуглероживанием в процессе термообработки. При изготовлении деталей необходима механическая обработка поверхности для удаления этого слоя.

Вывод

Таким образом, можно заключить, что использование метана более предпочтительно для процессов ИПЦ, поскольку позволяет получать слои большей глубины по сравнению с ацетиленом. Данный эффект обусловлен отсутствием термического разложения метана на поверхности детали по сравнению с ацетиленом, что позволяет точнее регулировать углеродный потенциал.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТБ 2307-2013 Поверхностно-упрочненные слои металлических деталей. Методы измерения толщины [Текст]. - Введ. 2013-11-01. - Минск: БелГИСС. - 13 с.

Козлова О.К., магистрант;
Курманова А.Ф., доц., канд. хим. наук;
Кутжанова К.Ж., доц., канд. хим. наук;
Пустолайкина И.А., доц., канд. хим. наук
(КарГУим.Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан)

КВАНТОВО ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛЫ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Салициловая (2-гидроксibenзойная) кислота (2-НОС₆Н₄СООН) представляет собой сложное соединение, которая является более сильной кислотой, чем её мета- и пара-аналоги, так как водородная связь с гидроксильной группой частично насыщает притяжение протона к карбоксильному иону.

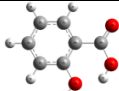
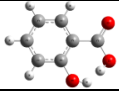
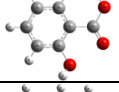
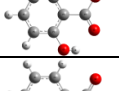
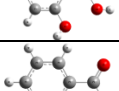
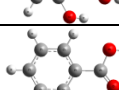
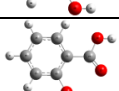

Известно, что салициловая кислота и ее производные в органических апротонных растворителях образуют как внутримолекулярную (ВВС), так и межмолекулярную водородную связь (МВС) между фенольным гидроксильным и соседней карбонильной группой. Реакционная способность бензольного кольца салициловой кислоты определяется наличием двух заместителей с противоположными мезомерным и индуктивным эффектами: донорной гидроксильной функциональной группой и акцепторной карбоксильной, а также образованием внутримолекулярной водородной связи, которая позволяет стабилизировать карбоксилат-ион, что приводит к повышению ее кислотности.

Для установления наиболее кинетически устойчивой структуры модели молекулы салициловой кислоты, мы предприняли попытку апробации некоторых наиболее широко используемых ab-initio методов в неограниченном Хартри-Фоковском приближении – Unrestricted Hartree-Fock (UHF). Кроме того, проведены теоретические исследования с привлечением одного из последних модернизированных версий полуэмпирического подхода – метод РМ6, позволяющего получать корректные результаты с меньшей затратой расчетного времени. Такой подход позволил выявить аналогию в закономерностях полученных расчетных значений геометрических параметров исследуемой молекулы, ее ротамеров, и сделать обоснованный выбор наиболее оптимального метода расчета для дальнейших квантово-химических исследований.

Исходя из данных, полученных как полуэмпирическим расчетом, так и неэмпирическим вычислениям, наименее устойчивой моделью молекулы является модель, в которой гидроксильный атом водорода ориентирован в сторону кислого атома водорода карбоксильной

группы и, соответственно, по причине пространственных эффектов вызывает повышение энергии исследуемой структуры.

Таблица 1 – Полные энергии ротамеров салициловой кислоты, полученные в некоторых неэмпирических и полуэмпирическом квантово-химических приближениях

Ротамер	E_{tot} , a.u.			
	STO-3G	3-21G	6-31G	PM6
 I	-486,82287478	-490,42935106	-492,96956109	-0,16714822
 II	-486,71020476	-490,23970900	-492,77766808	-0,00055082
 III	-486,81189009	-490,40749344	-492,95064780	-0,16714979
 IV	-486,82384152	-490,42774570	-492,96737307	-0,17189478
 V	-486,82081735	-490,42239846	-492,96409380	-0,16946225
 VI	-486,83194791	-490,44193042	-492,98152377	-0,17999588
 VII	-486,83406058	-490,44460049	-492,98431660	-0,18177174
 VIII	-486,82187508	-490,42360565	-492,96448041	-0,16941353

В то же время, модели VI и VII являются наиболее устойчивыми структурами модельных молекул салициловой кислоты, поскольку обладают наименьшими значениями полных энергий. Как мы можем увидеть из полученных результатов, эти две модели структуры салициловой кислоты обладают примерно одинаковой устойчивостью. Так, например, согласно неэмпирическим расчетам с использованием базиса 3-21G $\Delta E = E_{\text{tot}}^{\text{VI}} - E_{\text{tot}}^{\text{VII}} \approx 7$ кДж/моль, что в полной мере может быть объяснено с точки зрения равновероятности их существования. В обоих случаях карбоксильная группа компланарна бензольному кольцу. Поворот карбоксильной группы относительно гидроксигруппы приводит к различному положению водородных связей двух ротамеров. В результате за счет межмолекулярных водородных связей в конденсированном состоянии вероятно существование обеих димерных форм.

А.М. Ежкова, гл. науч. сотр., д-р биол. наук;
*В.О. Ежков, проф., д-р вет. наук;
И.А. Яппаров, руководитель, д-р биол. наук;
*Е.С. Нефедьев, проф., д-р хим. наук;
*В.Е. Катнов, доц., канд. хим. наук;
*Д.В. Ежков, асп.
(Татарский НИИАХП ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань)
(*КНИТУ, г. Казань)

НАНОСТРУКТУРНЫЙ ФОСФОРИТ: ИЗГОТОВЛЕНИЕ, СТРУКТУРА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Российская Федерация богата разнообразными природными минеральными ресурсами, запасы которых составляют: фосфоритов – 22 млн т, бентонитов – 13 млрд т, цеолитов – 2,7 млрд т и др.[1].

Наноструктурный фосфорит изготавливали в научно-исследовательском инновационно-прикладном центре «Наноматериалы и нанотехнологии» г. Казань. Использовали фосфоритную муку тонкого помола (сито № 0.16), изготовленную из фосфоритной руды Сюндюковского месторождения Республики Татарстан. Химический состав представлен, в %: P_2O_5 – 10,0-12,0; CaO – 32,8; MgO – 1,4; Fe_2O_3 – до 8,0; Al_2O_3 – 2,4; F – 2,3; CO_2 – 4,0; K_2O – 1,0; Na_2O – 1,0; SiO_2 – 18,0; SO_2 – 3,8[2].

Наноструктурный фосфорит изготавливали методом ультразвукового диспергирования фосфоритной муки в деионизированной воде при частоте 18,5 кГц ($\pm 10\%$), удельная мощность прибора УЗУ-0,25 (ОАО УПП «Вектор», Россия) составляла 80 Вт/л, амплитуда колебаний ультразвукового волновода – 5 мкм, длительность воздействия – 30 минут. Структуру, размер и форму частиц фосфоритной муки и наноструктурного фосфорита исследовали методом прерывисто-контактной атомно-силовой микроскопии (АСМ) на сканирующем зондовом микроскопе Multi Mode V («Veeco», США).

При исследовании структуры фосфоритной муки методом сканирующей зондовой микроскопии наблюдали хорошо сформированные зерна фосфорита вытянутой капсулообразной формы (рис. 1). Частицы характеризовались однородностью размеров, имели ширину 0,3-0,4 мкм и длину – 0,8-1,2 мкм. Расположение частиц носило хаотичный характер.

После ультразвуковой обработки фосфоритной муки наблюдали частицы конусообразной формы с острым пиком, некоторые частицы имели полигональную форму (рис. 2). Размер частиц колебался в пре-

делах 50-120 нм. Кроме этого отмечали более крупные образования с размерами 450 нм. При более детальном исследовании выявляли, что эти образования являются системой, состоящей из вышеупомянутых мелких частиц.

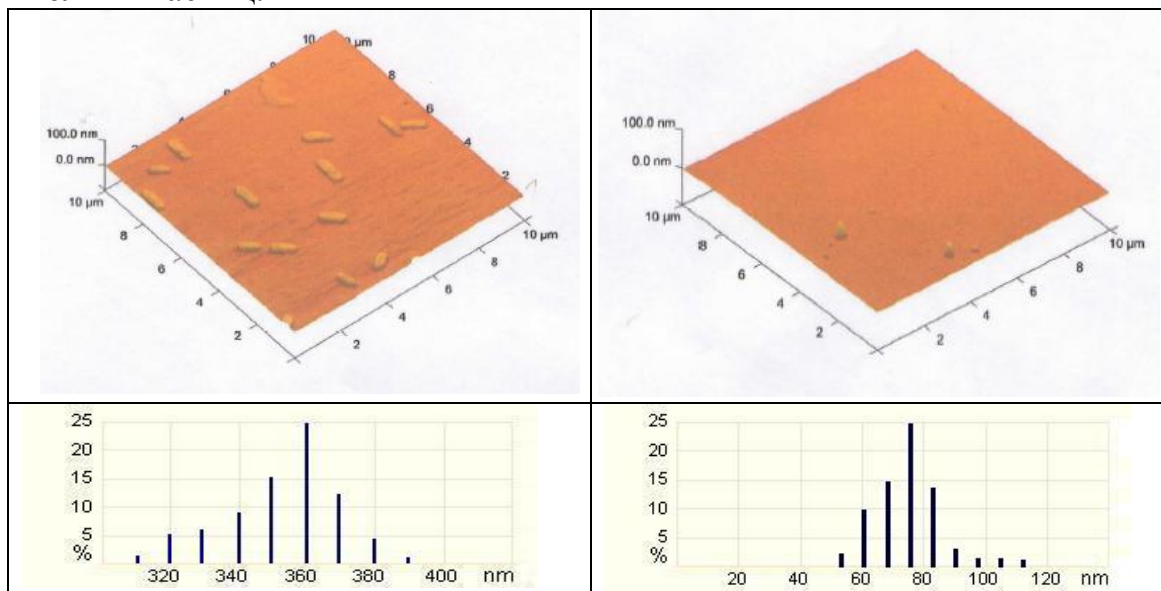


Рисунок 1 – АСМ-изображение и гистограмма фосфоритной муки, размер частиц 300-400 нм

Рисунок 2 – АСМ-изображение и гистограмма наноструктурного фосфорита, размер частиц 50-120 нм

Применение фосфорита в кормлении цыплят-бройлеров повысило их живую массу на 7,9%, наноструктурный фосфорит – на 19,4% ($p \leq 0,05$), в сравнении с контрольными[2].

Таким образом, изменение структуры, формы и размера частиц фосфорита обусловило усиление его биологических эффектов в живых организмах, что проявилось повышением мясной продуктивности цыплят-бройлеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ежков, В.О. Наноструктурные минералы: получение, химический и минеральный составы, структура и физико-химические свойства / В.О. Ежков, А.Х. Яппаров, Е.С. Нефедьев, А.М. Ежкова, И.А. Яппаров, А.П. Герасимов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 11. – С. 41-45.

2. Ежков, Д.В. Влияние кормовой добавки наноструктурного фосфорита на аминокислотный состав мяса цыплят-бройлеров / Д.В. Ежков, И.А. Яппаров, А.М. Ежкова // Сборник материалов конференции XV Международной конференции молодых ученых «Пищевые технологии и биотехнологии» (г. Казань, 13-14 апреля 2016 г.). – Казань: Издательство «БРИГ», 2016. – С. 295-297.

РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОНТАКТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

Цель исследования – разработка композиционного материала на основе композиции AgSnO_2 для коммутационных электрических аппаратов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Основными критериями при выборе ингредиентов контактного материала были: высокая термодинамическая стабильность, отсутствие химического взаимодействия с матричным металлом – серебром, низкая склонность к коалесценции при высоких температурах.

Исходя из эксплуатационных требований к контактам коммутационных аппаратов и требований по структурообразованию композиционного материала, для проведения исследования были выбраны следующие добавки: Bi_2O_3 , WO_3 , Cr.

Для изготовления опытных образцов была предложена комбинированная технология изготовления, а именно: сочетание химических процессов (восстановление оксидных порошков и их повторное внутреннее окисление) для получения необходимого гранулометрического состава и структуры исходных порошков и процессы порошковой металлургии.

В результате исследований был разработан состав металлокерамического материала для электрических контактов, который включает такие составляющие: 81,75% мас. Ag + 11% мас. SnO_2 + 2,25% мас. Bi_2O_3 + 4,5% мас. Cr + 0,5% мас. WO_3 .

Испытания на электрическую эрозию автоматических выключателей серии ВА 88-32 ($I_n = 125\text{A}$) с серийными и исследуемыми контактами проводились при характеристике «С» выключения токов короткого замыкания, при которой $I_{к.з} = 625\text{ A}$.

Испытания на электроэрозионную устойчивость проводились согласно ДСТУ 2993-95 при силе тока 125 А, напряжении 380 В, $\cos \varphi = 0,35$, количестве коммутаций 50 тыс. циклов.

Экспериментальные данные по электроэрозионной устойчивости разработанного материала превышают аналогичный показатель серийного материала типа КМК-А10м в 1,8 раза.

**КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ ГЕКСАФТОРОСИЛИКАТОВ
НЕКОТОРЫХ d-МЕТАЛЛОВ С НИКОТИНАМИДОМ**

Гетероциклические азотсодержащие соединения, являющиеся компонентами некоторых витаминов и лекарственных средств, важны для жизнедеятельности живых систем [1]. Например, никотинамид (NA) участвует в метаболических процессах человеческого организма, является компонентом ряда ферментов, в частности, кофермента никотинамидадениндинуклеотида, и часто используется в синтезе комплексов металлов для создания лекарственных препаратов [2]. Предпочтительно никотинамид координируется через азот пиридинового кольца [3]. В работе [4] описана структура комплекса, в котором координация NA осуществляется через атом N пиридинового кольца, в работе [5] – структура комплекса, в котором NA выступает в роли мостикового лиганда, координируясь через азот пиридинового кольца и кислород амидной группы.

Целью данной работы является синтез, ИК-спектроскопическое исследование комплексных соединений $[M(NA)_2(H_2O)_4]SiF_6 \cdot 2H_2O$, где $M^{2+} = Co(I), Ni(II), Zn(III)$, $NA = C_6H_6N_2O$ – никотинамид; $[Cu(NA)_2(SiF_6)(H_2O)_2] \cdot 2H_2O$ (IV).

Синтезы соединений I-IV проводили смешением раздельно водных растворов $CoSiF_6 \cdot 6H_2O$ (0,309 г; 0,001 моль), $NiSiF_6 \cdot 6H_2O$ (0,309 г; 0,001 моль), $ZnSiF_6 \cdot 6H_2O$ (0,316 г; 0,001 моль), $CuSiF_6 \cdot 6H_2O$ (0,314 г; 0,001 моль) и NA (0,244 г; 0,002 моль). Полученные растворы оставляли для медленной кристаллизации при комнатной температуре. Образовавшиеся через несколько дней кристаллы отделяли от маточного раствора фильтрованием и сушили в эксикаторе над $CaCl_2$. Выходы 70% (I), 75% (II), 67% (III), 90% (IV).

Вещества разлагаются в концентрированных растворах серной и азотной кислот, растворяются в ДМСО, ДМФА, этилендиамина, не растворяются в ацетоне, этаноле, диэтиловом эфире, толуоле, углеводородах, спиртах (этиловом, бутиловом, изопропиловом, изобутиловом), ацетоне. Растворимость в воде при $25,0 \pm 0,5^\circ C$ составляет для соединений: I – 0,02 моль/дм³; II – 0,15 моль/дм³, III – 0,08 моль/дм³, IV – 0,22 моль/дм³, V – 0,03 моль/дм³.

ИК-спектры соединений I-IV снимали на ИК-Фурье-спектрометре Cary 630 FTIR фирмы Agilent в интервале $4000-400\text{ см}^{-1}$

в матрице KBr. Молекулы воды в составе комплексов I-IV характеризуются наличием полос валентных колебаний $\nu(\text{OH})$ в интервале $3621 - 3403 \text{ см}^{-1}$. Никотинамид координирован с ионами-комплексообразователями через гетероатом азота пиридинового кольца, что подтверждается смещением на ИК-спектрах комплексов в высокочастотную область $\nu_{\text{кольца}}$ в интервале $1600-1030 \text{ см}^{-1}$ по сравнению со спектром “свободного” НА ($1593-970 \text{ см}^{-1}$). Полоса валентных колебаний аниона SiF_6^{2-} , равная 741 см^{-1} , практически не смещается в соединениях I-III ($744, 743, 744 \text{ см}^{-1}$), но претерпевает изменение в комплексе IV (756 см^{-1}), что свидетельствует о другой координации гексафторосиликат-иона в этом соединении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Köse D. A., Necefoglu H. Synthesis and characterization of bis(nicotinamide) m-hydroxybenzoate complexes of Co(II), Ni(II), Cu(II) and Zn(II) // *J. of Thermal Analysis and Calorimetry: An International Forum for Thermal Studies*. — 2008. — Vol. 93, 2. — P. 509–514.
2. Vaskova Z., Kitanovski N., Jaglicic Z. et al. Synthesis and magneto-structural characterization of copper(II) nitrobenzoate complexes containing nicotinamide or methylnicotinamide ligands // *Polyhedron*. 2014. V. 81. P.
3. Dziewulska-Kulaczkowska A., Mazur L., Ferenc W. Thermal, spectroscopic and structural studies of zinc(II) complex with nicotinamide // *J. of Thermal Analysis and Calorimetry: An International Forum for Thermal Studies*. — 2009. — Vol. 96, E1. — P. 255–260.
4. Синтез и кристаллическая структура комплекса $[\text{Co}_2(\text{НИКОТИНАМИД})_4(\text{C}_4\text{H}_9\text{COO})_4(\text{H}_2\text{O})]$ / Г. Г. Садиков, А. С. Анцышкина, Т. В. Кокшарова, И. С. Гриценко, В. С. Сергиенко // *Кристаллография*. — 2007. — Т. 52, № 5. — С. 847 – 853.
5. Xue J., Hua X., Li W. et al. Cobalt(II) and strontium(II) complexes of three isomers, nicotinamide, isonicotinamide and picolinamide // *J. Mol. Struct.* 2014. V. 1059. P.108.

И.А. Пустолайкина, доц., канд. хим. наук;
А.Ф. Курманова, доц., канд. хим. наук;
К.Ж. Кутжанова, доц., канд. хим. наук;
В.Ю. Эрзямкина, студ. (КарГУ, г. Караганда)

КВАНТОВОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИМЕРИЗАЦИИ НА ПРОТОЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Такие химические соединения, как кислоты, спирты, амины, фенолы и др. способны образовывать гомо- и гетерокомплексы с водородными связями, которые способны выступать в качестве реагентов. Существует ряд данных, которые указывают на то, что комплексы с водородными связями являются более активными в химических реакциях, чем мономеры. Причины этого явления, как правило, остаются неизвестными. Существует предположение, что комплексы с водородными связями обладают повышенными донорно-акцепторными и кислотно-основными свойствами по сравнению с мономерами. Это обстоятельство является причиной повышенной реакционной способности комплексов с водородными связями.

Применение экспериментальных физико-химических методов для изучения водородносвязанных кластеров в жидких смесях не позволяет получить детальную информацию об их структуре и стабильности. В то же время, на сегодняшний день существует целый ряд вычислительных методов для определения топологии водородных связей, от *ab initio*, в которых перенос протона рассчитывается из первых принципов, до методов классического компьютерного моделирования, в которых используется параметризация межчастичных взаимодействий. Несмотря на это, число работ, направленных на теоретическое исследование водородносвязанных димерных комплексов протолитов не велико. Целью настоящего исследования ставилось изучение влияния димеризации на способность серной кислоты отщеплять протон методами квантовой химии.

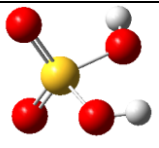
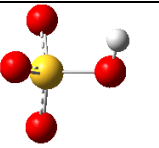
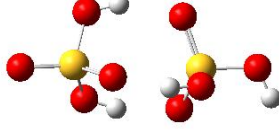
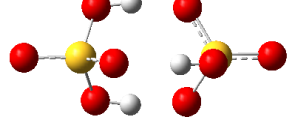
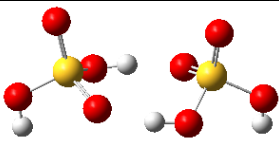
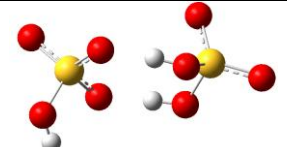
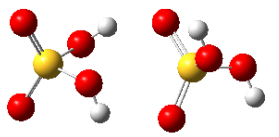
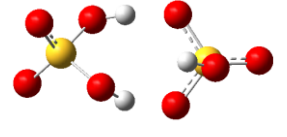
Для характеристики силы кислот и оснований удобно воспользоваться протолитической теорией Бренстеда-Лоури, согласно которой кислота – это частица, способная отдавать протон. Если имеется кислота НА: $НА \rightarrow A^- + H^+$, то полнота ее диссоциации на протон H^+ и отрицательно заряженный кислотный остаток A^- характеризует ее кислые свойства. В то же время способность кислоты отщеплять протон квантовохимически может быть оценена с помощью энергии депротонирования, вычисленной как разность величин полной энергии кисло-

ты HA и аниона A^- , образующегося при ее депротонировании (так как квантовохимически полная энергия протона равна нулю):

$$\Delta E_{\text{депрот.}} = E_{\text{полн.}}(\text{HA}) - E_{\text{полн.}}(\text{A}^-), \quad (1)$$

Расчеты были выполнены с помощью программы Gaussian-2009 ab initio методом UHF в базе 6-31G с полной оптимизацией всех геометрических параметров. В таблице 1 приведены геометрические структуры молекулы серной кислоты и трех изомеров ее димера, а также их энергетические характеристики.

Таблица 1 – Геометрическая структура расчетных моделей и их энергетические характеристики. Метод расчета - UHF 6-31G

Объект	Геометрическая структура		$-E_{\text{полн.}}$, A.U.		$\Delta E_{\text{депрот.}}$, A.U.
	кислоты HA	аниона кислоты A^-	HA	A^-	
Мономер			697,6668	697,1766	0,4901
Димер 1			1395,3772	1394,9297	0,4475
Димер 2			1395,3688	1394,9179	0,4509
Димер 3			1395,3561	1394,9156	0,4405

Анализ представленных в таблице 1 полных энергий мономера и димеров серной кислоты показывает, что образование самоассоциатов является энергетически выгодным процессом. Энергия комплексообразования, оцененная как разница в полных энергиях двух одиночных молекул и димера, составила величину 114,52; 92,56; 59,14 кДж/моль для димеров 1, 2, 3 соответственно. Величина энергии депротонирования для всех трех димеров серной кислоты меньше, чем для мономера, следовательно, димеры легче могут отщеплять протон и являются более сильными кислотами.

ДВОЙНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ СОЛИ ГЕКСА(ИЗОТИОЦИАНАТО)ХРОМАТОВ(III) КОМПЛЕКСОВ ЛАНТАНОИДОВ(III) С НИКОТИНОВОЙ КИСЛОТОЙ

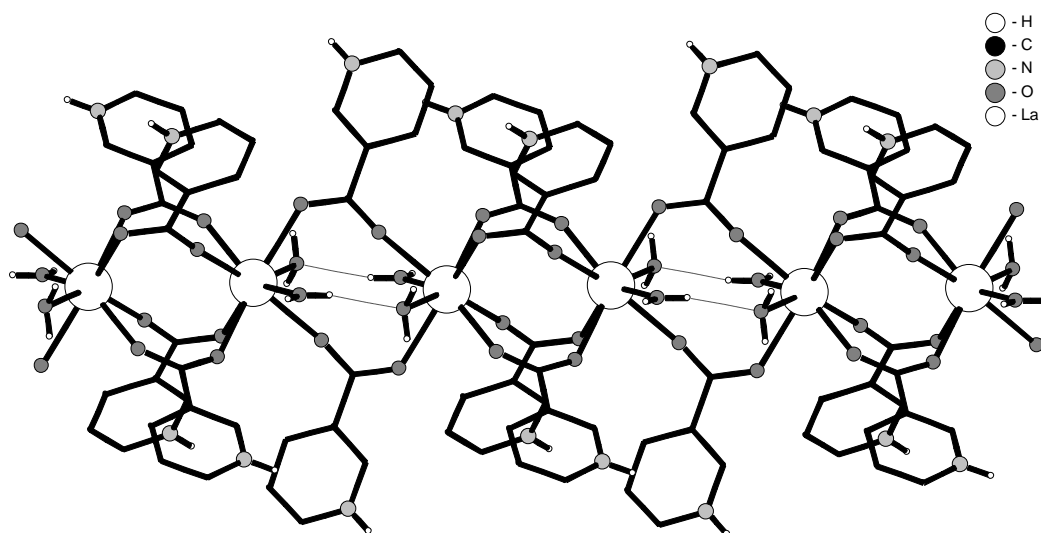
Перспективными прекурсорами для получения новых функциональных материалов являются двойные комплексные соединения (ДКС), являющиеся гибридными неорганическими – органическими веществами, состоящими из комплексных катионов и анионов с неорганическими и органическими лигандами и разными металлами – центральными атомами. ДКС перспективны как предшественники для получения катализаторов, магнитных материалов, различных сенсоров и полиметаллических систем.

Ранее нами сообщалось о получении и исследовании гекса(изотиоцианато)хроматов(III) комплексов лантаноидов с ϵ -капролактамом [10]. В продолжение исследований ДКС синтезированы соединения с лантаноидами(III) цериевой группы состава $[M(C_5H_5NCOO)_3(H_2O)_2][Cr(NCS)_6] \cdot nH_2O$, $M=La$ (1), $n=2$; Ce (2), $n=2$; Nd (3), $n=1$; Sm (4), $n=2$. Комплексы изучены методами химического анализа, ИК-спектроскопии и РСА.

Прямой синтез веществ осуществлен смешиванием умеренно концентрированных водных растворов 0,001 моль комплексной соли $K_3[Cr(NCS)_6] \cdot 4H_2O$ и 0,003 моль никотиновой кислоты в интервале рН 4-6 с последующим добавлением 0,001 моль гексагидратов нитратов лантаноидов(III) марок «х.ч.». При этом выпадали мелкокристаллические осадки ДКС бледно-сиреневого цвета, которые промывали холодной водой, отфильтровывали и высушивали на воздухе. Химический анализ на содержание ионов лантаноидов (III) выполнен гравиметрически осаждением в виде оксалатов с последующим прокаливанием до оксидов, количество хрома определено фотоколориметрическим методом, элементный C,H,N,S-анализ выполнен на приборе ThermoFlash 2000 фирмы Thermo Scientific. ИК-спектры комплексов сняты на ИК Фурье спектрометре Cary 630 FTIR фирмы Agilent в интервале 4000-400 cm^{-1} в матрице KBr. Положения частот валентных и деформационных колебаний характеризуют изотиоцианатные комплексы и бидентатность лиганда никотиновой кислоты, координирующейся с металлом-комплексообразователем через кислород карбоксильной группы.

Рентгеноструктурный эксперимент для соединений I - III вы-

полнен на дифрактометре Bruker APEX DUO с 4К CCD детектором с использованием φ - и ω -сканирования при температуре 150 К. Соединения I- IV изоструктурны, в кристаллических структурах катионы имеют полимерное цепочечное строение (рисунок)



**Рисунок – Полимерная цепочка в катионе
[Nd(C₅H₅NCOO)₃(H₂O)₂][Cr(NCS)₆]·H₂O**

Координационное окружение атома металла состоит из 8 атомов кислорода, располагающимся в вершинах искаженной квадратной антипризмы. Координированные молекулы воды расположены в одном из двух тетрагональных оснований в транс-положениях друг к другу. Никотиновая кислота присутствует в виде цвиттер-иона. В качестве противоиона выступают изолированные анионы [Cr(NCS)₆]³⁻, в которых координационный полиэдр хрома(III) состоит из атомов азота шести роданид-ионов и близок к правильному октаэдру. Полимерные цепочки упакованы по закону гексагональной укладки, пространство между цепочками заполнено островными комплексными анионами [Cr(NCS)₆]³⁻ и кристаллизационными молекулами воды. В структурах образуются межмолекулярные водородные связи между кристаллизационными молекулами воды и N–H группами координированных лигандов. Различия в содержании кристаллизационной воды, возможно, связаны с разворотом отдельных пиридиновых фрагментов в катионах комплексов, что, в свою очередь, приводит к сокращению всех параметров элементарных ячеек моногидратов и уменьшению их объемов.

И.Л. Поболь, доц., д-р техн. наук;
Н.А. Кананович, мл. науч. сотр.;
А.А. Предко, инженер-технолог
(ФТИ НАН Беларуси, г. Минск)

ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ СПЛАВА АЛЮМИНИЯ АМг2

Алюминий и его сплавы обладают комплексом физико-химических и технологических свойств, повышение которых позволит значительно расширить их область применения. В работе представлены некоторые результаты высоковольтного электрохимического оксидирования (ВВЭО) конструкционного сплава алюминия АМг2. Исследовано влияние температуры электролита на физико-химические свойства оксидных покрытий.

ВВЭО проводили при температурах от 5 до 25 °С в водных растворах $C_2H_2O_4$ (40 г/л), Na_2SiO_3 (1 г/л) (электролит №1) и $C_4H_6O_6$ (80 г/л), H_2SO_4 (40 г/л) (электролит № 2) в течение 30 мин с плотностью тока 3 А/дм².

Исследованиями [1, 2] показано, что путем ВВЭО на поверхности сплавов алюминия формируется слой, состоящий из Al_2O_3 в виде аморфного материала и нанокристаллического барьерного слоя. Топография оксидированной поверхности в значительной степени зависит от температуры электролита: рельеф поверхности становится более развитым с ее повышением, что обусловлено увеличением скорости селективного травления формирующегося слоя оксида.

Толщину оксидного слоя измеряли на оптическом микроскопе МИ-1. При температуре обоих электролитов в диапазоне 5-15 °С толщина слоя практически постоянна и составила 23 мкм и 45-48 мкм для 1 и 2 электролита соответственно. Повышение температуры выше 15 °С приводит к уменьшению оксидного слоя, что связано с ростом химической активности ионов электролита.

Микротвердость образцов определяли на автоматическом микротвердомере AFFRI-DM8 с алмазным индентором - пирамидой Виккерса с нагрузкой 10 г как среднее из 5 измерений. Максимальные значения микротвердости оксидных слоев достигаются при температуре электролитов 5 °С – HV10 454 в составе №1 и HV10 490 - №2 (для исходного сплава АМг2 – HV10 77). При повышении до 15 °С температуры электролита №1 микротвердость слоя снижается до HV10 443, а №2 - до HV10 470. При дальнейшем росте температуры снижение микротвердости материала слоев более интенсивное (при

25°С до HV 405 и HV 410 соответственно). Это объясняется формированием структуры покрытия с высокой плотностью пор большого диаметра.

Измерения шероховатости поверхности проводились на профилометре-профилографе Surtronic 25. Образцы исходного АМг2 механически обработаны до $R_a=0,4$ мкм. После ВВЭО в электролите №1 шероховатость снижается благодаря метасиликату натрия, который выступает в роли выравнивающей добавки и формирует оксидный слой с $R_a=0,32-0,41$ мкм. В электролите №2 наблюдается рост шероховатости до 2,1-2,5 мкм. Такой характер изменения морфологии поверхности связан с повышением интенсивности образования пор и роста их диаметра при повышении температуры электролита.

Испытания на коррозионную стойкость проводили на потенциостате AUTOLAB электрохимическим методом поляризационных кривых в 3 %-ном водном растворе NaCl комнатной температуры. С повышением температуры процесса оксидирования коррозионная стойкость оксидного слоя уменьшается, что объясняется ростом диаметра нанопор. Чем выше температура, тем крупнее нанопоры, что упрощает доступ коррозионной среды к их основаниям.

В электролите №1 образцы, полученные при температуре ВВЭО 5 °С, показали самую высокую коррозионную стойкость, скорость коррозионных процессов составляет $7,16 \cdot 10^{-7}$ мм/год (для исходного АМг2 – 0,02 мм/год), в электролите №2 скорость выше – $3,5 \cdot 10^{-6}$ мм/год. Скорость коррозии зависит от морфологии покрытия и растет с повышением температуры оксидирования.

Вывод

Методом ВВЭО на сплаве АМг2 можно получить оксидное декоративно-защитное покрытие с улучшенными физико-химическими свойствами, значительное повышение которых наблюдается при температурах оксидирования в диапазоне 5-15 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nmadu, D. Технология формирования защитно-декоративных керамических покрытий на сплавах алюминия высоковольтным электрохимическим оксидированием: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.02.07 / D. Nmadu. – Минск, 2018. – 152 л.

2. Поболь, И. Л. Высоковольтное электрохимическое оксидирование сплавов АД1 и АМг2 / И. Л. Поболь, Д. Нмаду // Инженерия поверхности и реновация изделий: материалы 17-ой МНТК, Одесса, 29 мая – 02 июня 2017 г. – Киев, 2017. – С. 145 –147.

ИНДИЦИРОВАНИЕ РЕНТГЕНОГРАММ ДВОЙНЫХ ТЕЛЛУРИТОВ

В таблице 1 приведены результаты индирования рентгенограмм порошка исследуемых соединений [1]. Удовлетворительное согласие опытных и расчетных значений $10^4/d^2$, приведенных в таблице 1, а также согласованность значений рентгеновской и пикнометрической плотности исследуемых соединений (табл. 2), подтверждают корректность проведенного индирования рентгенограмм исследованных соединений.

Таблица 1 - Индирование рентгенограмм двойных теллуритов

I_0	d, Å	$10^4/d^2$ эксп.	hkl	$10^4/d^2$ выч.
1	2	3	4	5
<i>Na₂Zn(TeO₃)₂</i>				
13	7,1556	195	100	196
17	5,5782	321	001	324
18	5,0765	388	011	396
29	4,4060	515	101	519
22	4,1494	581	111	592
9	3,9406	644	030	653
27	3,5796	780	200	783
10	3,4512	840	130	849
100	2,9381	1158	040	1161
32	2,7789	1295	002	1295
9	2,7341	1338	140	1356
30	2,6430	1432	230	1436
7	2,3928	1742	231	1759
22	2,2835	1918	240	1944
5	2,2136	2041	220	2051
7	2,1633	2137	51	2138
6	2,1120	2242	132	2144
9	2,0432	2395	321	2375
15	1,9171	2721	232	2731
20	1,7872	3131	400	3131
32	1,7643	3213	023	3204
15	1,7322	3333	322	3346
7	1,6480	3682	203	3697
33	1,6354	3740	421	3745
<i>K₂Zn(TeO₃)₂</i>				
21	5,120	382	101	381
15	4,230	559	132	531
14	4,010	622	051	610
9	3,640	755	20	755
12	3,268	936	201	947

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
16	3,180	989	161	982
100	3,070	1061	080	1068
22	2,977	1128	132	1108
16	2,940	1157	250	1172
10	2,840	1240	142	1225
15	2,810	1266	081	1260
6	2,690	1382	152	1375

Как видно из данных таблицы 1 величины экспериментальных и расчетных значений ($10^4/d^2$), рентгеновской и пикнометрической плотностей (табл. 2) удовлетворительно согласуются между собой, что подтверждают достоверность результатов индицирования. А также позволяет утверждать, что соединения $Na_2Zn(TeO_3)_2$, $K_2Zn(TeO_3)_2$ кристаллизуются в ромбической сингонии и имеют параметры элементарных ячеек, представленные в таблице 2 [2].

Таблица 2 - Типы сингонии и параметры элементарных ячеек теллуридов

Соединение	Тип сингонии	Параметры решетки, Å			$V_{яч.}^0$, Å ³	Z	Плотность, г/см ³	
		a	b	c			рент.	пикн.
$Na_2Zn(TeO_3)_2$	ромб.	7,15	11,74	5,56	466	8	4,86	4,75 ± 0,12
$K_2Zn(TeO_3)_2$	ромб.	7,28	24,48	7,21	1284	8	2,68	2,61 ± 0,08

На основании вышеизложенного можно констатировать, что впервые твердофазным способом синтезированы двойные теллуриды цинка с s-элементами. Рентгенографически определены типы их сингонии и параметры элементарных ячеек.

Данные рентгенографических исследований показывают, что синтезированные соединения кристаллизуются в структурном типе искаженного перовскита P_mZ_m . Рентгенографические характеристики новых теллуридов s-d-элементов являются исходными материалами для включения в фундаментальные банки данных и справочники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рустембеков К.Т. Синтез и рентгенография, калориметрия нового двойного теллурида $MgCd(TeO_3)_2$, Известия НАН РК. Серия химическая. 370, 4 (2008)

2. Рустембеков К.Т., Дюсекеева А.Т., Шарипова З.М., Жумадилов Е.К. Рентгенографические, термодинамические и электрофизические свойства двойного теллурида натрия-цинка, Известия Томского политехнического университета. Химия. 315, 3 (2009)

ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВОЙНЫХ ТЕЛЛУРИТОВ ЦИНКА

Важное место среди редких элементов, применяемых в современной технике, занимает теллур. Установление взаимосвязи между составом, строением и свойствами веществ является одной из важнейших проблем современной неорганической химии.

Для синтеза двойных теллуридов использовали TeO_2 марки «ос.ч.», ZnO и карбонаты щелочных металлов квалификации «х.ч.». Навески исходных веществ взвешивались с точностью до четвертого знака после запятой. Стехиометрические количества исходных веществ тщательно перетирались в агатовой ступке, затем пересыпались количественно в алундовые тигли и подвергались термообработке для твердофазного взаимодействия на воздухе в силитовой печи. Был использован следующий режим термообработки: отжиг в течение 25 часов при температуре $400 - 800^\circ\text{C}$ с периодическим перетиранием в ступке; далее при 400°C в течение 15 часов проводили отжиг с целью получения стабильных при низких температурах соединений.

Проведен химический анализ на содержание теллура, а также оксидов натрия, калия, цинка [1]. Для анализов и приготовления растворов применяют дистиллированную воду по ГОСТ 6709-72 и реактивы квалификации «х.ч.».

Соотношение концентраций растворов соли Мора и дихромата калия (К) устанавливаются следующим образом.

В коническую колбу емкостью 500 мл отмеривают 20 мл 0,1н раствора дихромата калия, прибавляют 200 мл воды, 10 мл соляной кислоты, 10 мл серной кислоты, 5 мл фосфорной кислоты и титруют в присутствии индикатора 0,1н раствором соли Мора до перехода окраски от фиолетовой к зеленой.

$$K = \frac{V_1}{V_2}, \quad (1)$$

где V_1 – объем раствора дихромата калия в мл; V_2 – объем раствора соли Мора в мл.

Содержание теллура в % (X) вычисляют по формуле:

$$X = \frac{(V_1 - V_2 \cdot K) \cdot T}{G} \cdot 100, \quad (2)$$

где T – титр раствора дихромата калия по теллуру в граммах; V_1 – объем раствора дихромата калия в мл; V_2 – объем раствора соли Мора

в мл; К – соотношение концентраций растворов дихромата калия и соли Мора; G – навеска теллура в граммах.

Максимально допустимое расхождение между результатами анализа 0,5 %.

Для внесения в результат анализа поправки на содержание оксидов калия и натрия в реактивах через все стадии анализа проводят контрольный опыт. Содержание оксидов калия и натрия находят по градуировочному графику.

Массовую долю оксидов калия и натрия X, %, вычисляют по формуле:

$$X = \frac{mV}{m_1V_1} \cdot 100 \quad (3)$$

где m – масса оксида калия (натрия), найденная по градуировочному графику, г; m₁ – масса навески, г; V – объем исходного раствора, см³; V₁ – объем аликвотной части раствора, см³.

Анализ на содержание Na₂O, K₂O проведен методом пламенной фотометрии [2], ZnO – методом комплексонометрии [3]. Результаты химического анализа продуктов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты химического анализа двойных теллуридов

Соединение	Состав соединения, %					
	Na ₂ O (K ₂ O)		ZnO		Te	
	эксп.	теор.	эксп.	теор.	эксп.	теор.
Na ₂ Zn(TeO ₃) ₂	13,02	13,40	17,27	17,40	54,86	55,20
K ₂ Zn(TeO ₃) ₂	18,79	19,00	16,12	16,45	50,99	51,58

Данные таблицы 1 свидетельствуют, что составы синтезированных соединений соответствуют стехиометрическим количествам составляющих веществ, что подтверждается удовлетворительным совпадением экспериментальных и теоретических количеств компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарло Г. Методы аналитической химии. М. - Л.: Химия, 1966.
2. Полуэктов Н.С. Методы анализа на фотометрии пламени. М.: Химия, 1967.
3. Дюсекеева А.Т., Рустембеков К.Т. Рентгенографические свойства двойных теллуридов, Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана: труды междунар. науч.-прак. конф. Караганда: Изд-во КарГТУ, 2007. С.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОГАЗОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ОСАДКОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ

Анаэробное сбраживание считается одними из самых привлекательных способов производства возобновляемых энергетических ресурсов с точки зрения эффективности и стоимости. В связи с этим наблюдается постоянно растущий интерес к использованию различных субстратов, содержащих органические вещества, для получения метана. Выбор технологии и оборудования для анаэробного сбраживания невозможно произвести без информации о количестве биогаза, в том числе метана, которое может быть произведено из конкретного субстрата в определенных условиях проведения процесса. На практике для определения биогазового потенциала (БП) используются теоретические (расчетные), экспериментальные методики.

Расчеты обычно ведут на массу органического вещества и ХПК субстрата и выражают в см³ метана на одни грамм.

Для прогнозирования БП нашли применение эмпирические модели, которые получены для органических субстратов различного состава. Для осадков очистных сооружений канализации ТКП 45-4.01-321-2018 для предварительных расчетов рекомендует массу газа, получаемого при анаэробном сбраживании, принимать равной 1 г (1 дм³ при плотности 1 кг/м³) на 1 г распавшегося органического (беззольного) вещества осадка.

Расчетные значения БП являются хорошим ориентиром для оценки перспективности субстрата для анаэробного сбраживания, однако для определения продолжительности сбраживания, степени распада органического вещества, выбора температурного режима и других параметров, которые оказывают влияние на выбор аппаратного оформления и экономические показатели процесса не обойтись без проведения теста на БП.

В настоящее время не существует стандартизованных процедур проведения испытаний для определения БП, которые устанавливают конкретные условия проведения отдельных этапов такого исследования.

Наиболее часто в практической работе по определению БП ориентируются на руководство VDI 4630, разработанное ассоциацией немецких инженеров. В БГТУ проведены сравнительные испытания различных вариантов определения БП осадков Минской очистной станции, базирующихся на руководстве VDI 4630. Определены степень распада органического вещества, выход биогаза и метана из исследуемых субстратов в мезофильных и термофильных условиях. Для определения условий анаэробного сбраживания, в максимальной степени соответствующих условиям действующей промышленной установки, на Минской очистной станции проведены исследования на пилотной установке контейнерного типа, которая состоит из четырех реакторов объемом 80 литров каждый. Контейнер оборудован современными аналитической и инструментальной системами.

УДК 628.35:316.12

Е. Г. Сапон, ассист.; В. Н. Марцуль, доц., канд. техн. наук;
А. И. Тихонович, студ. (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ АЗОТА И ФОСФОРА ИЗ ВОЗВРАТНЫХ ПОТОКОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ВИДЕ СТРУВИТА

Извлечение азота и фосфора из возвратных потоков очистных сооружений канализации в виде струвита ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) позволяет не только сокращать сброс биогенных элементов в поверхностные водные объекты, но и обеспечить их повторное использование. Полученный продукт может быть использован в качестве комплексного удобрения пролонгированного действия с высоким содержанием питательных элементов. Для организации процесса образования и струвита и его отделения от жидкой фазы необходимо знать, как изменяются характеристики дисперсной фазы при изменении состава очищаемой воды. С этой целью в работе проведено исследование влияния различных параметров на размер частиц образующегося осадка, а также степень извлечения, как наиболее важных характеристик процесса извлечения.

Эксперименты проводились с использованием растворов, моделирующих содержание азота и фосфора в возвратных потоках очистных сооружений. В качестве влияющих параметров были выбраны содержание азота и фосфора, pH, ионная сила растворов и времени от момента начала осаждения. Содержание азота и фосфора контролировали с помощью стандартных фотометрических методик, размеры частиц анализировали с помощью микроскопа A.KRUSO Optronic (Германия) MBL2000-T с возможностью фотофиксации программного продукта ImageJ для обработки фотографий, pH – потенциометрически.

Установлено, что на степень извлечения фосфора, а также размер частиц струвита наибольшее влияние оказывает ионная сила растворов и pH. Показано, что рост размеров частиц осадка и степени извлечения фосфора коррелирует с их увеличением. Указывается, что степень извлечения фосфора мало зависит от концентрации фосфора в растворе. Также наблюдается рост размеров образующихся кристаллов при росте исходных концентраций азота и фосфора. Вместе с тем, увеличение продолжительности реакции приводит к уменьшению размеров частиц. Показано, что при выбранном соотношении концентраций степень извлечения азота в условиях проведения экспериментов превышает 90% и зависит только pH растворов.

УДК 504.064.47: 628.386

О.С. Залыгина, доц., канд. техн. наук; В.И. Чепрасова, инж.;
О.Ю. Кузьменкова, студ. (БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ БЛЕСКООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ПРОЦЕСС ОСАЖДЕНИЯ ИОНОВ ЦИНКА ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ХЛОРИДНО-АММОНИЙНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ЦИНКОВАНИЯ

В работе было исследовано влияние блескообразователей СБЦ-1 и СБЦ-2 на процесс осаждения ионов цинка из отработанных хлоридно-аммонийных электролитов цинкования. СБЦ-1 представляет собой водный раствор карбоксильных соединений и поверхностно-активных веществ (ПАВ), СБЦ-2 – раствор ПАВ, карбонильных соединений и ацетона или изопропилового спирта. Для исследования их влияния были приготовлены модельные отработанные электролиты цинкования (МОЭЦ), содержащие 70 г/л $ZnCl_2$, 100 г/л NH_4Cl , а также блескообразователи СБЦ-1 и СБЦ-2 от 3 до 5 г/л. В качестве осадителя использовался фосфат натрия.

На основании результатов потенциометрического титрования на предыдущих этапах исследования было установлено, что наибольшая степень извлечения (более 99,99 %) ионов Zn^{2+} из отработанных электролитов цинкования фосфатом натрия наблюдается при $pH=8,1-8,5$ с последующим подкислением до $pH=6,9$ и времени старения осадка 30 минут.

Результаты потенциометрического титрования МОЭЦ фосфатом натрия показали, что блескообразователь СБЦ-1 практически не влияет на pH осаждения Zn^{2+} . При введении в МЭЦ СБЦ-2 pH осаждения Zn^{2+} незначительно смещается в область меньших значений pH . На всех дифференциальных кривых потенциометрического титрования наблюдается три пика. Первый при $pH=6,9$ соответствует осаждению тетрагидрата фосфата цинка $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$, а два последующих – двухстадийному осаждению фосфата цинка-аммония $ZnNH_4PO_4$ в гексагональной и орторомбической сингониях.

Установлено, что в присутствии СБЦ-2 увеличивается количество фосфата цинка-аммония, кристаллизующегося в гексагональной сингонии, за счет чего повышается степень дисперсности получаемого осадка. В присутствии СБЦ-1 происходит укрупнение образующихся кристаллов. В случае совместного присутствия СБЦ-1 и СБЦ-2 их противоположное влияние на размер кристаллов нивелируется.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СКОПА

Предприятия по производству бумаги и картоны оказывают воздействие на все компоненты окружающей среды. Наиболее значимым является воздействие на водные ресурсы. Это обусловлено потреблением большого количества воды и образованием загрязненных сточных вод. В процессе очистки стоков на предприятиях по производству бумаги и картона образуется осадок (скоп), содержащий короткие целлюлозные волокна, другие органические и минеральные соединения. Основным способом обращения со скопом является его хранение или захоронение. Возможно использование скопа в составе сырьевой смеси (не более 10 % от общей массы) для изготовления бумажной продукции.

Цель работы – сравнительный технико-экономический анализ трех направлений обезвреживания и использования скопа (сжигание и пиролиз скопа в составе кородревесной смеси, а также использование скопа в качестве сорбционного материала для очистки сточных вод).

Исследования проводили на образцах скопа, образующегося на одном из предприятий целлюлозно-бумажной промышленности Республики Беларусь. Установлено, что скоп характеризуется относительно высокой влажностью (около 65%). Потери при прокаливании составляют 65,24%, что обусловлено значительным содержанием органических соединений и наделяет скоп энергетическим потенциалом.

В связи с высокой влажностью скопа, прямое его сжигание в теплоэнергетических установках является экономически неоправданным. Более целесообразным является сжигание скопа в составе кородревесной массы. Сравнительный анализ технико-экономических показателей процессов сжигания и пиролиза таких смесей свидетельствует о существенных экономических затратах для их реализации. В первом случае это связано с необходимостью создания сложной системы очистки газовоздушных выбросов от твердых частиц и диоксида серы; во втором – затратами на теплоэнергетическую установку и вспомогательного оборудования для разделения и хранения продуктов.

Проведенные в работе исследования свидетельствуют о возможности использования скопа в процессах очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов и красителей. Применение скопа в качестве сорбента требует определенных этапов его подготовки.

И.Н. Пугачева, проф., д-р техн. наук;
Л.В. Молоканова, доц., канд. биол. наук
(ФГБОУ ВО «ВГУИТ», г. Воронеж)

СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ЗА СЧЕТ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В последние годы в России наблюдается тенденция увеличения объема образующихся отходов производства и потребления, при этом уровень развития сферы обращения с отходами остается на низком уровне. Вследствие этого имеют место большие потери материально-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов и, самое главное, высокий уровень загрязнения окружающей среды, отчуждение значительных территорий под полигоны и другие объекты размещения отходов. Решение проблемы переработки отходов является одной из важнейших задач. В настоящее время в промышленных масштабах активно внедряются технологии, предусматривающие переработку и использование отходов и побочных продуктов химических, нефтехимических и других производств. На основе данных отходов в ряде случаев предусмотрено получение низкомолекулярных сополимеров, которые находят применение в производстве лакокрасочных материалов, в композиционных составах различного назначения, используются для защиты древесины и др. Одним из перспективных направлений утилизации побочных продуктов нефтехимии является переработка их в добавки для эластомерных композиций [1].

Одной из марок маслonaполненных эмульсионных каучуков является СКС-30 АРКМ 15. В рецептуре ее создания в качестве пластификатора применяется масло ПН-6, которое содержит в своем составе полициклические ароматические углеводороды, являющиеся токсичными веществами. Для повышения экологической безопасности производимой продукции целесообразно было бы рассмотреть возможность частичной или полной его замены на олигомеры, синтезированные из побочных продуктов и отходов нефтехимии.

Для исследований использовали масло ПН-6 истиролсодержащий олигомер, модифицированный гидропероксидомпинана (ССО ГП), эмульсионный каучук марки СКС-30 АРК, СКС-30 АРКМ 15. С целью повышения равномерности распределения добавки в объеме полимерной матрицы, ее целесообразно вводить в виде водноолигомерной дисперсии (ВОД). Способ получения стабильной ВОД на основе ССО ГП и масла ПН-6 представлен в работе [1].

Для исследования влияния полученных добавок (ВОД) на процесс создания эластомерных композиций их смешивали с каучуковым латексом СКС-30 АРК, а затем полученную смесь подвергали коагуляции по общепринятой методике [2]. Анализ полученных данных показал, что дополнительное использование ВОД положительно отражается на процессе коагуляции и приводит к увеличению выхода образующейся крошки каучука, а также они полностью распределяются в полимерной матрице и отсутствуют в сточных водах. В производстве эмульсионных каучуков потери антиоксиданта составляют 30-35 %. Исходя из рассчитанного материального баланса процесса получения эмульсионных каучуков установлено, что при введении антиоксиданта в каучук в составе ВОД его потери снижаются в 1,5 раза, что позволяет более полно и эффективно использовать дорогостоящее сырье.

Далее на основе полученных образцов каучука СКС-30 АРК, содержащего добавки, были приготовлены резиновые смеси и вулканизаты, и исследованы их физико-механические свойства в сравнении с образцами маслонеполненного каучука СКС-30 АРКМ 15. Введение ВОД позволяет получить вулканизаты, основные показатели которых удовлетворяют требованиям ТУ. В тоже время наблюдается тенденция к повышению устойчивости к термоокислительному воздействию, что свидетельствует о снижении потерь антиоксиданта в процессе получения эластомерных композиций, при введении его в составе ВОД.

Таким образом, олигомеры, синтезированные из побочных продуктов и отходов нефтехимии, можно применять не только в качестве добавок в эмульсионные каучуки, но и в качестве перспективных противостарителей, что позволит снизить количество отходов и, в конечном счете, улучшить состояние окружающей природной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пугачева, И.Н., Никулин, С.С. Композиционные материалы: получение, свойства и применение. / И.Н. Пугачева, С.С. Никулин. LAPLAMBERT:Academic Publishing, 2017.
2. Практикум по коллоидной химии латексов: учебное пособие / Т.Н. Поярковаидр. М.: Издательский Дом «Академия Естествознания», 2011.

СПОСОБ ОЧИСТКИ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

В мебельной и деревообрабатывающей промышленности при изготовлении древесностружечных плит, фанеры, мебели и другой продукции в ряде технологических процессов образуются высококонцентрированные сточные воды (процессы нанесения связующего, пропарка древесины).

Высокая концентрация органических загрязняющих веществ в сточных водах (концентрация взвешенных веществ до 2,5 г/л; БПК₅ 9000–18000 мг О₂/л; ХПК 21000–45000 мг О₂/л; содержание сухого остатка – до 8 г/л) не позволяет сбрасывать их в городскую канализационную сеть или водный объект. Так же существуют проблемы с отводом данных сточных вод на локальные очистные сооружения. Соответственно требуется принятие эффективных технологических решений, направленных на сокращение их объема и очистку, обеспечивающую возврат воды в водооборотный цикл предприятия, или сброс в канализацию без превышения установленных нормативов содержания загрязняющих веществ.

Целью работы было разработка способа совместной очистки высококонцентрированных сточных вод деревообрабатывающих производств.

В результате проведенных исследований были подобраны оптимальные условия совместной обработки смолосодержащих сточных вод и сточных вод от пропарки древесины, и разработаны два варианта очистки, которые позволяют очистить сточные воды до требований нормативов.

В 1 вариант происходит смешение сточных вод в определенном соотношении, последующей поликонденсацией, отделением осадка и доочисткой на адсорбенте. Очищенная вода может возвращаться в производственный цикл или сбрасываться в канализацию.

Во 2 варианте пропарочные сточные воды предварительно подвергаются термической обработке, в результате которой образуется конденсат (до 80 %) и кубовый остаток (ХПК – 60000-100000 мгО₂/дм³). Конденсат возвращается в производство, а кубовый остаток смешивается со смолосодержащими сточными водами и отверждается. В результате образуется твердый осадок, который может использоваться в качестве удобрения пролонгированного действия.

БИОКОМПСТИРОВАНИЕ СКОПА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ НА ОАО «СЛОНИМСКИЙ КАРТОННО-БУМАЖНЫЙ ЗАВОД «АЛЬБЕРТИН»

На ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин» в процессе формования бумажной массы и промывки технологического оборудования образуются сточные воды с высоким содержанием взвешенных веществ, при очистке которых образуется большое количество осадка – скопа, состоящего из мелкой фракция макулатурного волокна на 90 % и механических примесей на 10 %.

На данный момент, образующийся скоп накапливается на территории предприятия, т. к. не подлежит захоронению. Одним из возможных направлений обращения со скопом является его биокомпстирование с последующим использованием образующегося компоста в качестве компонента улучшающего структуру почвы, входящего в состав почвогрунтов, используемых при рекультивации и т.д.

При выполнении данной работы были изучены требования к осадкам сточных вод и компостам на их основе, предъявляемые к ним в зависимости от области их дальнейшего использования. Так как скоп содержит трудноразлагаемое древесное волокно, то для интенсификации процесса биокомпстирования использовали вещества, находящиеся в свободном доступе и рекомендованные для компстирования отходов, образующихся на садовых участках: бинарный биопрепарат «Горыныч»; ускоритель созревания компоста «Компостин»; биоактиватор компстирования «Компостелло»; биопрепарат «Экомик Дачный»; биоактиватор «Eхrel»; средство для выгребных ям и септиков «Доктор Робик»; средство для выгребных ям и септиков «Microbes».

Исследования проводили в лабораторных условиях применяя технологическое моделирование, позволявшее воспроизвести процесс биокомпстирования скопа с соблюдением оптимальных технологических параметров.

Полученные компосты были проанализированы по основным показателям позволяющим определить область их последующего использования, а также была определена их фитотоксичность.

Сделан вывод о том, что наилучшими биоактиваторами являются биопрепарат «Экомик Дачный», бинарный биопрепарат «Горыныч», средство для выгребных ям и септиков «Доктор Робик», биоактиватор компстирования «Компостелло». Однако полученные компосты не рекомендуется использовать для выращивания злаковых культур.

ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДА ЦИНКА ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЦИНКОВАНИЯ

Оксид цинка находит широкое применение в различных отраслях народного хозяйства: использование в качестве пигмента, в резинотехнической и шинной промышленности, в промышленности стройматериалов.

В качестве сырья для производства оксида цинка могут служить отходы химической, медеплавильной и металлообрабатывающей промышленности. Эти отходы представляют собой в большинстве случаев шламы, содержащие цинк в виде металлического цинка и его соединений. Спектр цинксодержащих отходов достаточно широк, к ним относятся: шлаки; изгарь; серая окись; гарт-цинк; цинковые дроссы; цинксодержащие отходы вискозного производства; отработанные электролиты цинкования.

Целью работы являлось получение оксида цинка из отработанных электролитов гальванического цинкования.

Были проведены исследования возможности получения оксида цинка из отработанных электролитов цинкования методом осаждения. Для этого использовались модельные электролиты цинкования различного состава и такие осадители, как уротропин, карбонат натрия, этилендиамин и гидроксид натрия.

Установлено, что наибольший выход и лучшее качество получаемого оксида цинка наблюдалось при использовании в качестве осадителя уротропина.

В ходе исследований установлено, что на выход готового продукта влияет состав отработанного электролита цинкования. В частности было установлено, что присутствие блескообразователя СБЦ-1 увеличивает выход целевого продукта. Определены оптимальные технологические параметры получения оксида цинка из отработанных электролитов цинкования.

Полученные результаты использованы при разработке технологической схемы получения оксида цинка из отработанных электролитов цинкования.

Результаты рентгенофазового анализа подтвердили, что по разработанной технологии получен оксид цинка. Определенные характеристики полученного материала свидетельствуют о возможности его применения в лакокрасочной промышленности и промышленности строительных материалов.

THE EFFECTS OF INOCULATION BARLEY BY ENDOPHYTIC BACTERIA (*METHYLOBACTERIUM SP.*)

Food is the energy source for everyone around the world, we live in an age where we are growing and producing more food than before. Generally, food insecurity is linked to seed insecurity. The term endophyte was first coined in 1866 by De Bary, *Methylobacterium sp.* are frequently encountered as endophytes, and common in soil and on surfaces of leaves and other plant parts. *Methylobacterium* have the capacity for methylotrophy, biofilm formation, production of Cytokinin, quorum-sensing signals, heavy metal and other stress resistance, and its role in Induction of Plant Growth, and Inhibition of Plant Pathogens.

Our study was conducted to test for *Methylobacterium sp.* ability to promote plant growth and to reduce heavy-metal toxicity. In the experiment westerilize barleyseeds by using 70% Ethanol for 1 min, 2% sodium hypochlorite for 8 min, and 0.2% mercuric chloride for time 2 min. Bacterial irrigation water with inoculum *Methylobacterium sp.* (standard), at 7.23 log cfu/ml were prepared under sterile laboratory conditions. The water was applied to sterilized seeds which grown in the laboratory during the whole experiment period. Finally, we measured Photosynthesis (Lamp: ParIn -> 1500 uml), and lipid peroxidation (LPO) with protocol (Health & Packer, 1997) [1].

The results showed that *Methylobacterium sp.* was able to promote plant growth of barley in control and in heavy metals conditions also increased metal uptake by the plants.

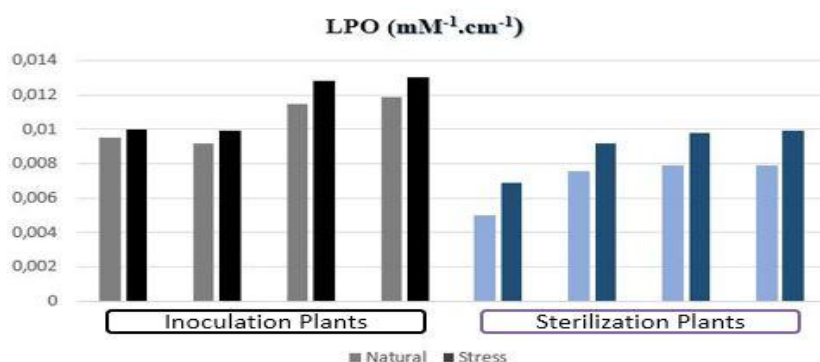
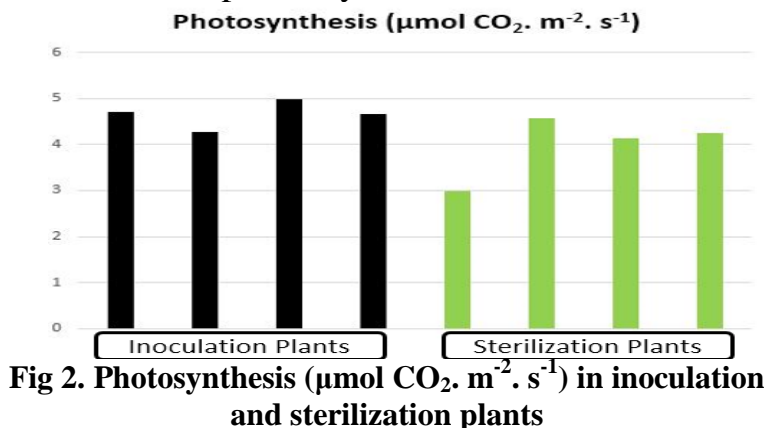


Fig 1. LPO (mM⁻¹.cm⁻¹) in inoculation and sterilization plants (natural, stress conditions)

Our results showed that the concentration of lipid peroxidation in plants which inoculated by *Methylobacterium sp.* were higher than steri-

lized plant in both conditions (natural, and stress). The LPO average number was $0.01053 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ in plants which inoculated by *Methylobacterium* sp. whereas the average number was $0.0071 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ in sterilized plants and both numbers took in natural condition. Also, in stress condition the LPO average number $0.01143 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ was higher than $0.00895 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ which measured Respectively.



Our results showed also that photosynthesis in plants which inoculated by *Methylobacterium* sp. higher than sterilized plants. Plant growth promoting bacteria can increase the growth and development of the plants either indirectly by reducing the toxic effects of metals or directly by producing the phytohormones [2]. Interestingly, most of the endophytes studied so far have been shown to exhibit resistance to multiple HM (Lodewyckx et al. 2002) and our results agree with those studies [3]. Another study in 2010 showed that the light response curves of beet showed that photosynthetic capacity was significantly increased in endophyte-infected plants. Promotion of photosynthetic capacity in sugar beet was due to increased chlorophyll content, leading to a consequent increased carbohydrate synthesis. It is possible that the increased maximum yield of photosynthesis in sugar beet was promoted by phytohormones and produced by the bacteria.

REFERENCES

- 1 Garcia, YJ. Lipid peroxidation measurement by thiobarbituric acid assay in rat cerebellar slices // YJ. Garcia, AJ. Rodriguez-Malaver, N. Penaloza // Environmental Microbiology. – 2005. – V. 144. – P. 127–135.
- 2 Beneduzi, A. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents / A. Beneduzi, A. Ambrosini, L.M.P. Passaglia // Genet Mol Biol. – 2012. – V. 35. – P. 1044–1051.
- 3 Lodewyckx, C. Endophytic Bacteria and Their Potential Application / C. Lodewyckx, J. Vangronsveld, F. Porteous, et al // Critical Reviews in Plant Sciences. – 2002. – V. 21. – P. 583–606.

УДК 543.544

Е. А. Макаревич, ст. преп.; А. В. Папин, доц., канд. техн. наук;
Т. Г. Черкасова, проф., д-р хим. наук (КузГТУ, г. Кемерово)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДОГО УГЛЕРОДНОГО ОСТАТКА ПИРОЛИЗА АВТОШИН В КАЧЕСТВЕ АДСОРБЕНТА

В качестве объекта исследования был взят твердый углеродсодержащий остаток пиролиза автошин компании ООО «КЭК+» (г. Калтан, Кемеровская область, Россия).

Был проведен технический анализ исходного углеродного остатка. В результате анализа данных установлено, что углеродный остаток имеет высокие значения зольности и выхода летучих веществ.

В ходе работы проводились исследования по облагораживанию твердого углеродсодержащего остатка пиролиза автошин методами магнитной сепарации и гравитационным обогащением, термической переработкой.

После облагораживания улучшилось качество углеродсодержащего остатка пиролиза автошин. Исчез резкий токсичный запах, очистились поры и стали видны невооруженным глазом цилиндрические макроотверстия, что открывает перспективы использования полученного облагороженного углеродного остатка в качестве адсорбента.

Оценку сорбционных свойств углеродного материала проводят путем сравнения сорбционной активности, измеренной в одинаковых условиях [1-4].

В качестве адсорбтива часто используют метиленовый голубой, метиленовый жёлтый, йод, фенол. В ходе исследований были определены суммарная пористость, временная зависимость адсорбционной активности по йоду. Метод определения суммарного объёма открытых пор основан на заполнении водой при кипячении навески адсорбента в воде и удалении избытка воды с поверхности зёрен.

В результате установлено, что суммарный объем пор в результате облагораживания увеличился в 2 раза.

Определена адсорбционная активность твердого углеродного остатка пиролиза автошин по йоду в зависимости от времени проведения реакции (15, 20, 30 минут), крупности кусков углеродного остатка. На основе полученных данных можно сделать вывод, что адсорбционная способность зависит от крупности частиц адсорбента (твердого углеродного остатка). Чем мельче частицы адсорбента, тем выше адсорбционная активность.

Также адсорбционная активность по йоду зависит от времени

проведения реакции. Адсорбционная способность возрастает с увеличением времени взаимодействия с раствором йода. Облагороженный технический углерод, класс крупности 0,2 мм обладает наилучшей адсорбционной активностью.

Адсорбционная способность по йоду зависит от крупности частиц адсорбента (твёрдого углеродного остатка) и от времени взаимодействия адсорбента с раствором йода. Облагороженный технический углерод, класс крупности 0,2 мм при времени взаимодействия с йодом 15, 20 минут обладает наилучшей адсорбционной активностью по йоду. При времени взаимодействия с йодом 30 минут значения адсорбционной активности облагороженного технического углерода и твёрдого остатка автошин, полученного низкотемпературным пиролизом близки.

Была исследована возможность очистки воды от фенола. Сорбционная очистка воды выполнялась на лабораторной установке. В качестве адсорбента использовали облагороженный твёрдый углеродный остаток пиролиза автошин с размерами частиц 0,5–2 мм.

При пропускании через фильтр водного раствора фенола концентрации 1 г/дм³ эффективность очистки составила около 35%, а при концентрации 0,1 г/дм³ – около 85%. При повторном использовании фильтра поглотительная способность снижается до 50%.

Снижение поглотительной способности происходит вследствие забивки сорбирующих микропор.

Для реактивации отработанного адсорбента использовали те же технологические операции, что и при его производстве. Реактивация отработанного адсорбента обеспечивает полное восстановление его адсорбционных свойств и возможность многократного использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов, Б. Н. Синтез и применение углеродных сорбентов // Сорровский образовательный журнал. 1999. №12. С. 29 – 34.
2. Лукин В.Д. Регенерация адсорбентов/ В.Д. Лукин, И.С. Анцыпович. – Л.: Химия, 1983. – 215 с.
3. Мухин В.М., Активные угли России / В.М. Мухин, А.В. Тарасов, В.Н. Клушин. – М.: Металлургия, 2000. – 352 с.
4. Промышленные адсорбенты: учеб. пособие /М. Б. Алехина. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2013. – 116 с.

Н.А. Клименко, студ.; Д.В. Гаврилкина, студ.;
Т.П. Пирог, д-р биол. наук, проф.

(Национальный университет пищевых технологий, г. Киев)

Н.О. Леонова, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. (Институт микробиологии
и вирусологии им. Д.К. Заболотного НАН Украины, г. Киев)

ВЛИЯНИЕ ФИТОГОРМОНОВ *NOCARDIA VACCINII* ИМВ В-7405 *ACINETOBACTER CALCOACETICUS* ИМВ В-7241 НА УРОЖАЙНОСТЬ ПОМИДОРОВ

Известно, что многие микроорганизмы способны к образованию комплекса различных метаболитов. Ранее нами было установлено, что *Nocardiovaccinii* ИМВ В-7405 и *Acinetobacter calcoaceticus* ИМВ В-7241 способны одновременно синтезировать внеклеточные поверхностно-активные вещества (ПАВ) и фитогормоны (ауксины, цитокинины и гиббереллины) [1]. Предыдущий вегетационный опыт показал, что обработка корневой системы рассады помидоров разбавленными в несколько раз супернатантами культуральной жидкости не сопровождалась повышением урожайности, что объясняли неоптимальной концентрацией содержащихся в них фитогормонов.

Цель данной работы - исследовать влияние различных концентраций фитогормонов, синтезированных *N. Vaccinii* ИМВ В-7405 и *A. Calcoaceticus* ИМВ В-7241, на рост и урожайность помидоров.

Культивирование обоих штаммов осуществляли в жидкой среде, содержащей в качестве субстрата 2 % рафинированного подсолнечного масла. Фитогормоны выделяли из супернатанта культуральной жидкости после предварительной экстракции ПАВ. Гиббереллины и ауксины экстрагировали этилацетатом при рН 2,5, а цитокинины - при рН 8,0, после чего концентрировали методом тонкослойной хроматографии.

Вегетационные опыты проводили в теплицах в период с мая по сентябрь 2018 г. Перед посадкой в почву корневую систему рассады помидоров выдерживали в течение двух часов в разбавленных экстрактах фитогормонов и воде (контроль). В каждом варианте было по шесть растений. В течение эксперимента анализировали количество плодов и их вес.

Результаты вегетационных опытов представлены в табл. 1 и 2. Эти данные свидетельствуют о том, что количество плодов на растениях, обработанных фитогормональными экстрактами (независимо от степени их разведения) было выше, чем после обработки водой. Отметим, что в большинстве опытных вариантов средний вес плода

практически не отличался от такового в контроле (25-25,7 г). Несколько выше (28,2 г) был средний вес плода на растениях, обработанных разбавленным в 10000 раз фитогормональным экстрактом *N. Vaccinii* ИМВ В-7405. В зависимости от степени разбавления фитогормональных экстрактов общий вес плодов, собранных с обработанных ими растений, был на 11-145 % выше, чем в контрольном варианте.

Таблица 1 – Влияние фитогормонов *N. vaccinii* ИМВ В-7405 на урожайность помидоров

Тип обработки	Общее количество плодов, шт.	Средний вес одного плода, г	Увеличение веса относительно контроля, %
Контроль (вода)	17	25,3	-
Экстракт фитогормонов в разведении 1:5000	19	25,2	11,3
Экстракт фитогормонов в разведении 1:10000	25	28,2	63,9

Таблица 2 – Урожайность помидоров в зависимости от концентрации фитогормонов *A. Calcoaceticus* ИМВ В-7241

Тип обработки	Общее количество плодов, шт.	Средний вес одного плода, г	Увеличение веса относительно контроля, %
Контроль (вода)	17	25,3	—
Экстракт фитогормонов в разведении 1:3000	41	25,7	145
Экстракт фитогормонов в разведении 1:5000	28	25,0	62,8

Полученные результаты свидетельствуют о возможности создания рост-стимулирующих препаратов на основе штаммов *N. vaccinii* ИМВ В-7405 и *A. Calcoaceticus* ИМВ В-7241 для увеличения урожайности сельскохозяйственных культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пирог Т.П., Леонова Н.О., Шевчук Т.А., Савенко И.В., Иутинская Г.А. Синтез фитогормонов бактериями *Acinetobacter calcoaceticus* ИМВ В-7241, *Rhodococcus erythropolis* ИМВ Ас-5017 и *Nocardia vaccinii* ИМВ В-7405 – продуцентами поверхностно-активных веществ // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. – 2016. – № 1. – С. 90-95.

Е. Н. Кузин, доц., канд. техн. наук, С. В. Азопков, асп.
Н. Е. Кручинина, проф., д-р. техн. наук,
Н. А. Алдущенко, магистр, Я. В. Тяглова, бакалавр,
(РХТУ им. Д. И. Менделеева, г. Москва)

ОЧИСТКА ВОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ИСТОЧНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНОГО КОАГУЛЯНТА

Процессы подготовки технологической или питьевой воды – сложная и ответственная задача. Среди множества надежных и эффективных способов очистки первое место занимает физико-химическая обработка воды. Процессы первичной очистки воды с использованием коагулянтов и флокулянтов встречаются практически повсеместно. Данные процессы позволяют с высокой эффективностью удалить из речной воды органические соединения и взвешенные вещества и направить воду на технологические цели.

Наибольшее распространение получили коагулянты на основе соединений алюминия и железа. Несмотря на низкую стоимость и эффективность, данные реагенты имеют недостатки. Железосодержащие коагулянты приводят к коррозии оборудования и могут создавать вторичное загрязнение воды с образованием комплексов с органическими соединениями, а соединения алюминия недостаточно эффективны при низких температурах воды и имеют ограниченный диапазон применения по величине pH [1]. В последнее время все большую популярность приобретают комплексные коагулянты, лишенные недостатков традиционных реагентов [2].

Для получения комплексного коагулянта образцы нефелинового концентрата обрабатывали 10 %-ным водным раствором тетрахлорида титана ($TiCl_4$). Образующаяся в процессе гидролиза $TiCl_4$ соляная кислота взаимодействует с щелочными компонентами нефелина с образованием раствора комплексного коагулянта, содержащего растворимые хлориды алюминия и титана (коагулянты), а также активную кремниевую кислоту (флокулянт). При использовании более концентрированных растворов $TiCl_4$ в результате реакции поликонденсации активной кремниевой кислоты образуется твердый комплексный коагулянт. Полученный кислый раствор (pH 2,53) испытывали на модельной сточной воде содержащей гуминовые кислоты (цветность – 30 град) и каолина (содержание взвешенных веществ – 25 мг/л), pH обрабатываемой воды – 7,43. Данные по остаточным концентрациям загрязняющих веществ представлены на рисунке 1.

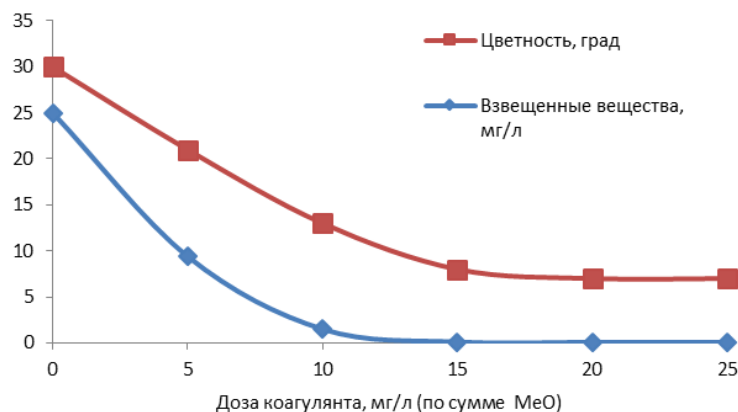


Рисунок 1 – Эффективность очистки модельной воды

Из данных диаграммы видно, что комплексные коагулянты эффективно снижают показатели мутности и цветности.

Эффективность очистки жидким комплексным коагулянтом проводили на воде поверхностного источника водозабора г. Москва (Сходненский деривационный канал). Исходное содержание взвешенных веществ составляло 12,4 мг/л, цветность – 41 град, рН – 6,97. В качестве коагулянта сравнения использовали наиболее распространенный сульфат алюминия. Данные по эффективности очистки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение эффективности очистки воды поверхностного источника

Реагент	Сульфат алюминия		Комплексный коагулянт	
	10	15	10	15
Доза коагулянта, мг/л (по сумме MeO)				
Взвешенные вещества, мг/л	0,18	0,14	0,13	0,11
Цветность, град	14	11	10	9
рН	6,81	6,72	6,71	6,60

Из данных таблицы 1 видно, что эффективность очистки с использованием комплексного реагента превосходит сульфат алюминия, что позволяет уменьшить дозу коагулянта в 1,5 раза по сравнению с $Al_2(SO_4)_3$ при достижении эквивалентных показателей очистки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Гетманцев С. В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М., Науч. изд. 2005. 576 с.
2. Е.Н. Кузин, Н. Е. Кручинина Получение отвержденных форм алюмокремниевого коагулянта и их использование в процессах водоочистки и водоподготовки // Цветные металлы. Москва 2016. № 10. - С. 8-13.

Т.Л. Сулейко; Е.И. Семёнова, доц., канд. техн. наук;
Н.А. Бублиенко, доц., канд. техн. наук
(НУПТ, Украина, г. Киев)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПОНИТА В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

На сегодняшний день ресурсы пресных поверхностных водных источников играют главную роль в обеспечении потребностей национальной экономики любого государства. Прогрессивная деятельность нынешнего и будущего поколений невозможна без устойчивого менеджмента водных ресурсов, позволяет поддерживать водные экосистемы и экологические процессы в водной среде в состоянии, пригодном для жизни на планете. Обеспечение необходимого качества использованной воды, сбрасываемой в водоемы или на центральные очистные сооружения, является одной из ключевых задач управления водными ресурсами.

Высокоразвитые страны ежегодно увеличивают финансирование усовершенствования водоохраных технологий, причем капиталовложения осуществляются с учетом экономической целеустремленности. Вышесказанное определяет актуальность сооружения на промышленных предприятиях станций очистки сточных вод.

Обязательным условием разработки проекта строительства станции очистки стоков является учет индивидуальных особенностей предприятия, но, в целом, схема отвода и очистки сточных вод должна обеспечивать минимальный сброс сточных вод в водоем, максимальное использование очищенных сточных вод в системах повторного и оборотного водоснабжения, а также полное извлечение и утилизацию ценных примесей. Реализовать это можно, например, путем применения биологического метода очистки стоков.

Биологическая очистка является экологически чистым и экономически наиболее рациональным мероприятием. На сегодняшний день более 90% сточных вод очищаются именно этими способами с использованием известных гидробиоценозов. Установлено, что значительная роль в обеззараживании, трансформации различных органических загрязнений принадлежит бактериям, грибам и актиномицетам. Но, как правило, такие организмы характеризуются очень медленной скоростью прироста. Достичь устойчивого, постоянного функционирования таких организмов в проточном очистном сооружении можно только с помощью иммобилизации их на нерастворимых адсорбентах.

Таким образом, иммобилизация различных организмов водной среды является необходимым условием надежной, глубокой и эффективной биологической очистки сточной воды.

Очистке подвергались сточные воды типичного представителя молокоперерабатывающей промышленности ОАО «Бровары-молоко» (концентрация загрязняющих веществ по ХПК (химическое потребление кислорода) составляет около 1400 мг $O_2/дм^3$).

В качестве иммобилизующего агента был избран сапонит, который считается эффективным и распространенным в промышленности адсорбентом, а кроме того еще и достаточно недорогим.

Иммобилизация организмов на носителях осуществлялась в различных условиях по количественному составу сапонита, что позволило установить соотношение количества адсорбента количеству активного ила на нем. Итак, исходная концентрация активного ила в аэротенке составила 8 г/ $дм^3$. Концентрация же адсорбента варьировала. В первой серии опытов соотношение наполнителя к активному илу составило 1:8, то есть на 1 г/ $дм^3$ сапонита был прикреплен 8 г/ $дм^3$ активного ила. Во второй серии опытов соотношение составляло 4:8. Третья серия выступала в качестве контрольной пробы, то есть процесс очистки проводился в стандартных условиях без применения адсорбента.

Качество процесса очистки оценивали по динамике ХПК сточных вод. В таблице представлены окончательные результаты проведенных исследований.

Таблица – Характеристика процесса очистки стоков молочного производства с использованием желтого сапонита как нерастворимого носителя для иммобилизации аэробного активного ила

Соотношение адсорбент : активный ил, г/ $дм^3$: г/ $дм^3$	Значение ХПК (мг $O_2/дм^3$) в процессе аэробной ферментации				
	Начало	12 ч	24 ч	36 ч	48 ч
1:8	1400	800	400	40	
4:8	1400	600	40		
0:8 (контроль)	1400	1000	550	250	40

Проведенные исследования позволяют сделать выводы, что использование иммобилизованной микрофлоры целесообразно и эффективным - прикреплена микрофлора очистного сооружения проявляла гораздо большую биохимическую активность, чем свободно плавающие хлопья активного ила в жидкой среде.

УДК 632.153

А. В. Тихомирова, доц., канд. хим. наук; Е.А. Соколова, студ.
(КузГТУ, г. Кемерово)

ВЛИЯНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЁМОВ

Для рассмотрения влияния промышленных выбросов предприятия Кемеровского района на реку Томь, были отобраны пробы воды из трех точек: р. Томь, 500 м выше точки сброса; выпуск в р. Томь; р. Томь, 500 м ниже точки сброса.

В табл. 1 представлены основные результаты анализа сточной воды после очистки, которая сбрасывается в реку Томь. Оценка проводилась согласно нормативным документам [1], [2], [3].

Таблица 1 – Показатели качества воды в месте сброса предприятия

Определяемые показатели	Результаты исследований	Единицы измерения	НД на методы исследования
Ион аммония	25,2±5,3	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.1-95
Нитраты	16,2±3,6	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.4-95
Нитриты	2,65±0,37	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.3-95
Железо общее	0,15±0,03	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.50-96
Сульфаты	14,2±2,8	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.159-2000
Кислород растворенный	5,69±0,91	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.101-97
ХПК	107±21	мгО ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.190-2003
Нефтепродукты	0,042±0,015	мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.128-98
БПКп	25,4±3,6	мгО ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97

В табл. 2 представлены основные результаты анализа воды р. Томь, отобранной в 500 метрах выше точки сброса и в 500 метрах ниже точки сброса. В процессе анализа использованы те же самые методики, что и при анализе сточной воды в месте сброса.

Из таблицы видно, что ряд показателей стал выше, а такие показатели, как БПК_{полн} и ХПК, значительно превысили уровень ПДК.

Биохимическим потреблением кислорода (БПК) называют количество кислорода, израсходованное на разложение нестойких органических соединений, содержащихся в исследуемой воде, и на аэробное биохимическое окисление под действием микроорганизмов.

При анализе, согласно методике, определяется количество кислорода, ушедшее за установленное время без доступа света при 20°С на окисление загрязняющих веществ, содержащихся в единице объема воды. Как правило, при нормальных условиях в течение 5 суток (БПК₅) происходит окисление приблизительно 70 % легкоокисляющихся органических веществ. Практически полное окисление (БПК_{полн} или БПК₂₀) достигается в течение 20 суток.

Таблица 2 – Показатели качества речной воды до сброса и после

Определяемые показатели	Результаты исследований		ПДК	Единицы измерения
	500 выше точки сброса	500 ниже точки сброса		
Ион аммония	0,13±0,05	0,16±0,06	1,93	мг/дм ³
Нитраты	1,0±0,2	1,3±0,2	45	мг/дм ³
Нитриты	0,169±0,023	2,40±0,34	3,3	мг/дм ³
Железо общее	0,10±0,02	0,11±0,02	0,3	мг/дм ³
Сульфаты	12,2±2,4	11,3±2,3	500	мг/дм ³
Кислород растворенный	9,43±1,51	9,09±1,45	не менее 4	мг/дм ³
ХПК	23,4±7,0	64,3±12,9	30	мгО ₂ /дм ³
Нефтепродукты	менее 0,005	0,075±0,026	0,1	мг/дм ³
БПКп	2,46±0,34	12,7±1,8	4	мгО ₂ /дм ³

Химическим потреблением кислорода (ХПК) называют количество кислорода, потребляемое при химическом окислении содержащихся в воде неорганических и органических веществ. Показатель определяется окислением примесей бихроматом калия при определенной температуре в присутствии катализатора с последующим измерением оптической плотности обработанного раствора.

Конечно, органические вещества могут попасть в воду и естественным способом. Но количество их невелико и, в природных условиях, находящиеся в воде органические вещества разрушаются бактериями. То есть, происходит ряд аэробных биохимических превращений, в результате которых образуется углекислый газ. При этом для окисления расходуется растворенный в воде кислород. Если содержание органических веществ высоко, большая часть растворенного в воде кислорода потребляется на биохимическое окисление, лишая, таким образом, кислорода фауну исследуемого водоёма.

В случае превышения уровней ПДК вышеназванных показателей, предприятиям в качестве рекомендации предлагается проверить очистные сооружения на предмет бесперебойной работы, а также проводить природоохранные мероприятия в местах сброса сточной воды.

ЛИТЕРАТУРА

1 СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод».

2 ГН 2.1.5.1315-03 «ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

3 ГН 2.1.5.2280-07 «Дополнение и изменения №1 к ГН 2.1.5.1315-03».

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЗОСОЕДИНЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВОДАХ

Сточные воды текстильной, пищевой, косметической и фармацевтической промышленности содержат синтетические вещества, известные по своему отрицательному воздействию на водную среду и живые микроорганизмы. Негативное воздействие данных соединений основано на повышении показателей окисляемости вод, ухудшении органолептических свойств воды и влиянии на биоценоз водоемов.

Очищенные сточные воды производства красящих веществ содержат водорастворимые соединения (сульфоокислоты, сульфоазо- и азокрасители, диазокомпоненты – сульфаниловая и нафтионовая кислоты), которые трудно улавливаются очистными сооружениями. Наличие близких по свойствам соединений значительно затрудняет анализ вод.

Объекты исследования – азокрасители с различными по характеру и положению заместителями. Молекулы красителей содержат электронодонорные (ОН, NH₂, N(CH₃)₂, OCH₃, NHCOCH₃) и электроноакцепторные заместители (NO₂, CN, SO₂CH₃). По числу азогрупп в молекуле различают моно-, дис- и полиазокрасители.

Предлагаемый способ определения моноазокрасителей методом хроматографии в тонком слое с последующей сканерометрической обработкой хроматограмм позволяет быстро и селективно определить содержание красящих веществ в сточных водах химических, пищевых и текстильных производств, не требует применения токсичных реагентов, дорогостоящего и сложного оборудования.

Способ определения азокрасителей включает две стадии:

- экстракционно-хроматографическое выделение красителей из водной пробы;
- анализ хроматограммы с применением компьютера и офисного сканера.

При разработке способа определения красителей в сточных водах в качестве объектов исследования выбраны наиболее часто применяемые в промышленности красители E102, E110, E122, E124, E129. Установлено, что для данных соединений эффективными экстрагентами являются ацетон, изопропиловый спирт, 1,4-диоксан и смеси на их основе.

Для определения красителей к 50 см³ водной пробы добавляли сульфат аммония до насыщения и эквимольную смесь ацетон – изопропанол (соотношение объемов водной и органической фазы после экстракции 10 : 1), экстрагировали. Микрошприцем отбирали 0,001 см³ концентрата и наносили на линию старта хроматографической пластины.

Определение красителей в концентрате выполняли методом хроматографии в тонком слое с применением пластин «Sorbfil» (Россия). В качестве подвижной фазы применяли смесь ацетона, изобутилового спирта и воды в объемном соотношении 0,2 : 0,5 : 0,3. Время хроматографирования не превышает 30 мин.

Разработана программа «Расшифровка хроматограмм» для качественного (идентификация по коэффициентам подвижности R_f , метод «свидетелей») и количественного (с применением градуировочного графика) анализа смеси веществ, разделенных методами хроматографии на плоскости (в тонком слое, на бумаге). Программа адаптирована для персонального компьютера и офисного сканера, написана на языке высокого уровня Delphi 7.

После сканирования хроматограммы, получают цифровое изображение, которое сохраняют в виде рисунка (формат BMP). Цифровое изображение вводят в программу, выделяют линии старта, финиша и пятно красителя. Программа устанавливает расстояние, пройденное фронтом растворителя и точкой пятна с наибольшей интенсивностью окраски, вычисляет, сравнивает коэффициенты R_f компонентов анализируемой смеси и стандартных веществ («свидетелей»). Коэффициенты R_f «свидетелей» могут быть установлены заранее и внесены в базу данных или определены одновременно с R_f компонентов анализируемой смеси.

Установлены оптимальные условия сканирования (цветовой режим, разрешение, фон). Число точек на хроматограмме в электронном виде (при строго определенном и постоянном разрешении) пропорционально площади пятна и соответственно концентрации определяемого компонента. По полученным данным программа автоматически строит зависимость площади пятна (по методу Монте-Карло) от концентрации аналита и рассчитывает содержание красителя в концентрате.

Минимально определяемые концентрации азокрасителей в анализируемых водных растворах составляют 0,1 – 0,01 мкг/дм³, а относительная погрешность определения по предложенной экстракционно-хроматографической методике не превышает 10 %.

СИНТЕЗ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Широкое развитие микропроцессорной техники делает все более актуальным класс гибридных систем управления, где непрерывная динамика объекта управления сочетается с дискретным характером управляющего воздействия.

В данной работе в качестве управляющего устройства рассматривается дискретный апериодический регулятор с минимальным временем переходного процесса.

Модель объекта управления носит непрерывный линейный характер и содержит запаздывание. При расчете параметров регулятора был произведен переход от непрерывной модели объекта управления к дискретной на основе алгоритма экстраполяции нулевого порядка. Расчет дискретного регулятора был произведен как без учета ограничения на управляющее воздействие, так и с учетом данного ограничения.

Расчет параметров регулятора был произведен в среде MATLAB, а имитационное моделирование системы автоматического управления (САУ) в среде SIMULINK.

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы:

1. При увеличении периода квантования (Sampletime) дискретного апериодического регулятора увеличивается время регулирования и уменьшается амплитуда сигнала регулирования.

2. При выборе периода квантования не кратного величине времени запаздывания объекта управления при синтезе САУ появляется перерегулирование и незначительная статическая ошибка регулирования.

3. При превышении периодом квантования некоторого критического значения в САУ появляется значительное перерегулирование, а при его дальнейшем увеличении САУ становится не устойчивой.

4. САУ с дискретным регулятором с ограничением на управляющее воздействие становятся не устойчивыми при меньшем периоде квантования, чем САУ без ограничения на управляющее воздействие.

АНАЛИЗ РАБОТЫ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В СТРУКТУРЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ФОНЕ НЕГАУССОВСКИХ ПОМЕХ

Исходя из теоремы разделения Лайниотиса, в линейных системах с квадратичным критерием качества при гауссовских входных воздействиях и ошибках измерений стохастический оптимальный регулятор представляет собой последовательное соединение устройств оптимальной оценки состояния и детерминированного оптимального управления.

Теорема разделения считается верной для случая гауссовских возмущающих факторов. Однако в большинстве реальных технических систем предположение о гауссовской природе возмущающих воздействий может не выполняться.

На основе имитационного моделирования оптимальных систем слежения работающих совместно с фильтром Калмана показывается применимость теоремы разделения и в случае негауссовских шумов. Стохастическая оптимальная система управления представляет собой последовательное соединение устройств оптимальной оценки состояния и детерминированного оптимального управления.

В работе рассматриваются помехи по каналу измерения имеющие гауссовский, экспоненциальный и равномерный законы распределения. Оптимальное управление синтезируется на основе критерия качества, позволяющего выйти на желаемое значение вектора переменных состояния объекта управления.

Для негауссовских помех используется гауссовская аппроксимация апостериорной плотности распределения вероятности. В качестве устройства оптимальной оценки неизвестного вектора переменных состояния используется фильтр Калмана.

Проводится сравнительный анализ работы стохастической системы управления при гауссовских и негауссовских помехах на основании дисперсии ошибки фильтрации. Моделирование ведётся в среде Matlab.

На основании сравнительного анализа дисперсий ошибок фильтрации можно сделать вывод о применимости теоремы разделения и в случае негауссовских шумов.

Наихудший результат получается при гауссовской аппроксимации экспоненциального закона распределения помехи.

Д. С. Карпович, доц., канд. техн. наук;
М.Ю. Подобед, ассист.;
В. В. Сарока, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ONIM680 ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ

Монтаж и эксплуатация систем автоматизированного электропривода требует глубокой и методичной подготовки специалистов, владеющих навыками подключения, настройки и эксплуатации преобразователей частоты (ПЧ). Одним из ведущих российских производителей ПЧ является ООО «ИЭК ХОЛДИНГ», который специализируется на выпуске оборудования для систем автоматизации. На основе оборудования ООО «ИЭК ХОЛДИНГ» -преобразователя частоты ONI M680 собран лабораторный стенд и разработана методика выполнения лабораторной работы для дисциплины монтаж, эксплуатация и диагностика систем автоматизации. Это позволит обучаемому получить навыки по монтажу, подключению и вводу в эксплуатацию ПЧ, с учетом указаний по технике безопасности и условий установки. При проведении занятий будет осуществлена проверка соответствия компонентов, правильности подключения двигателя. Студент научится составлять схемы электрических соединений и на практике реализовать электрические соединения и подключения, изучит алгоритмы настройки параметров и освоит навыки эксплуатации с использованием встроенной панели управления, внешних задающих устройств и прикладного программного обеспечения для обслуживания ПЧ. Примеры эксплуатации электроприводов с ПЧ рассматриваются на основе типичных алгоритмов подключения и настройки: управление асинхронным двигателем привода от встроенного потенциометра или от внешнего потенциометра, реализация функций «пуск, реверс, стоп» с использованием встроенного пульта управления, дистанционное управление асинхронным двигателем с реализацией функций «пуск, реверс, стоп», ступенчатое изменение скорости, с использованием цифровых входов, задание скорости с использованием унифицированного аналогового сигнала тока 4-20 мА, настройка и использование релейных выходов устройства для индикации и сигнализации.

Изучение способов установки, получение практических навыков подключения и настройки преобразователей частоты позволит повысить компетенции будущих специалистов в области автоматизации.

Д. С. Карпович, доц., канд. техн. наук;
И.О. Оробей, доц., канд. техн. наук;
В. В. Сарока, доц., канд. техн. наук;
С.А. Овцов, ассист. (БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ MEMS ГИРОСКОПА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРТАЛЬНОГО АВТОАПЕРАТОРА

При исследовании динамических характеристик портального автооператора для выбора закона оптимального управления требуется оценка положения элементов автооператора в моменты ускорения и замедления. Измерение этих параметров возможно с использованием микроэлектромеханического (MEMS) датчика угловой скорости и ускорения. MEMS сенсоры – это интегрированные системы с размерами от нескольких микрометров до нескольких миллиметров, объединяющие в себе механические и электронные компоненты. Принцип работы таких датчиков основан на преобразовании в электрический сигнал дифференциальной емкости, образуемой подвижными и неподвижными микромеханическими пластинами гребенчатой формы.

Изменение емкости под действием линейного ускорения или силы Кориолиса позволяет оценить амплитудные значения указанных воздействий. Для проведения исследований разработано устройство на основе микроконтроллера ArduinoMEGA, включающее модуль MPU-9250, представляющий трехосевой гироскоп с диапазонами измерения ± 250 500 1000 2000 $^{\circ}/с$, трехосевой акселерометр с диапазоном ускорения: ± 2 ± 4 ± 8 ± 16 г и трехосевой измеритель магнитного поля с диапазоном измерения поля: ± 4800 μT . Для синхронизации и фиксации временных интервалов применен модуль DS1302, представляющий часы реального времени с независимым питанием. Сбор данных осуществляется платой расширения Micro SD карты памяти. MPU-9250 и плата расширения Micro SD использует для подключения к микроконтроллеру стандарт протокола связи I2C.

Поскольку устройство предназначено для автономного измерения динамических характеристик автооператора, оно использует блок питания с аккумуляторами. Устройство имеет малый вес, монтируется в герметичном блоке и жестко закрепляется в исследуемых точках автооператора и позволяет производить измерения без влияния на технологический процесс.

Д. С. Карпович, доц., канд. техн. наук;
С.А. Овцов, ассист.; В. В. Сарока, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В ЦЕХУ АНОДИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

Использование реагентного способа обезвреживания сточных вод позволяет производить основную химическую обработку сточной воды до конца в одном и том же объеме реактора и получить очень высокое качество отстаивания. Образующиеся в ходе процесса обработки поверхности стоки (кислые стоки, щелочные и промывные) попадают в соответствующие баки-накопители при помощи насоса. Стоки после накопления поступают в реактор автоматически в следующей последовательности - от объема реактора: 85% промывных вод, 3% щелочных стоков и 2% кислых стоков от объема реактора. После окончания наполнения реактора происходит перемешивание стоков. При постоянном перемешивании стоков в реактор автоматически добавляется коагулянт, стоки перемешиваются, и автоматически дозируется известковое молочко. Дозировка известкового молочка происходит до тех пор, пока рН не будет соответствовать значению 7-7,5. После окончания дозировки известкового молочка происходит перемешивание стоков в реакторе, а затем происходит дозировка флокулянта. После дозировки флокулянта содержимое реактора перемешивается в течение 5 минут, а затем мешалка останавливается.

Основным этапом проведения процесса является седиментация осадка около двух часов или до образования четковыраженной границы разделения жидкой фазы и осадка. После седиментации осадка система управления приступает к декантации воды, которая образовалась над осадком через клапана. Вода поступает при помощи насоса в промежуточный бак, а после накопления определенного уровня воды в баке автоматически поступает на фильтр тонкой очистки, заполненный антрацит-песочным материалом. После фильтра вода поступает в канализацию. После декантации стоков в реакторе, осадок при помощи насоса поступает на пресс-фильтр. Пресс после заполнения осадком требует очистки.

Предлагаемый способ очистки сточных вод позволит осуществлять эффективную очистку сточных вод без перерасхода дорогостоящих реагентов с последующей утилизацией обезвоженных осадков.

И.О. Оробей, доц., канд. техн. наук;
В. В. Сарока, доц., канд. техн. наук;
М.А. Анкуда, ассист. (БГТУ, г. Минск)

ИЗМЕРИТЕЛЬ РАСХОДОВ НА ЭФФЕКТЕ ДЖЕКОБСОНА-ВАНГСНЕССА

Для измерения малых расходов с использованием ядерного магнитного резонанса (ЯМР) целесообразно применение эффекта Джекобсона – Вангснесса, суть которого заключается в следующем. При регистрации спектра ЯМР в изменяющемся магнитном поле скорость расстройки частоты прецессии ядер от резонансной отлична от нуля, что приводит к сдвигу частоты резонанса и искажениям кривых поглощения и дисперсии. Для описания эффекта ЯМР используется система уравнений Блоха, решение которой позволяет получить сигнал поглощения или дисперсии. При регистрации спектров ЯМР в изменяющемся магнитном поле получаются кривые поглощения, зависящие от скорости изменения магнитного поля.

С увеличением скорости изменения магнитного поля наблюдаются искажения кривой поглощения и сдвиг резонансной частоты (сдвиг Джекобсона – Вангснесса). Таким образом, воздействие на образец нестационарного магнитного поля изменяет формы кривых поглощения, дисперсии и резонансную частоту, причем величина, знак искажений и сдвиг частоты определяются скоростью изменения магнитного поля. Изменение модуляции, развертки и продольного градиента вызывают искажение и сдвиг резонансной частоты при регистрации сигнала от проточной жидкости. Выбором частоты, амплитуды модуляции и условий записи спектра ЯМР можно добиться того, что для каждого объема жидкости скорость расстройки частоты прецессии ядерных моментов от частоты электромагнитного поля будет зависеть от расхода жидкости и продольного градиента магнитного поля. Тогда искажения сигнала и сдвиг резонансной частоты однозначно связаны с продольным градиентом и расходом жидкости.

Методы измерения расхода жидкостей с использованием эффекта Джекобсона - Вангснесса заключаются в регистрации и анализе искажений спектра ЯМР при движении в поле с продольным градиентом. Измерение скорости течения отличается большой чувствительностью в области малых расходов. Достоинством расходомеров на эффекте Джекобсона - Вангснесса является возможность использования первичных преобразователей накладного типа, не требующих механического разрыва исследуемого гидравлического тракта.

Д.А. Гринюк, доц., канд. техн. наук;
И.Г. Сухорукова, ст. преп.; Н. М. Олиферович, ассист.;
М. М. Гвоздев, инж. (БГТУ, г. Минск)

ФИЛЬТРАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В УСЛОВИИ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ПОМЕХ

Полезный сигнал измерительных преобразователей практически всегда требует улучшения отношения сигнал / помеха. Обычно выделяют, что следующие способы фильтрации: метод накопления; частотная фильтрация; корреляционный метод; согласованная фильтрация; нелинейная фильтрация. Все эти методы основаны на использовании различий в свойствах полезного сигнала и помех. Иногда, при обработке трендов приходится решать вопросы обнаружения полезного сигнала. В этом плане для построения измерительных схем представляет трудность негармонические сигналы.

При проведении научных экспериментов по анализу колебаний резинотехнической ленты дополнительные трудности были обусловлены низкой чувствительностью первичного преобразователя. Данные с опытной установки были получены с отношением сигнал/шум близко единицы. Сглаживание измерительных трендов следовало проводить таким образом, чтобы максимально сохранить форму сигнала и иметь возможность определить частоту колебаний. Форма периодического полезного сигнала имела переменный характер, представляя собой смесь двух-трех, слегка нелинейных гармонических сигналов. Применение частотных методов впоследствии не позволяли сохранить форму сигнала. Согласованная фильтрация требовала существенного изменения методики проведения эксперимента. И даже после этого шансы на сохранение формы полезного сигнала в этом случае были бы минимальны. Эти же проблемы характерны для методов накопления. По этой причине был выбран метод локальной аппроксимации для проведения процесса сглаживания.

Участки трендов аппроксимировались квадратичным уравнением в рамках выбранного окна. Оптимальная ширина окна выбиралась таким образом, чтобы окно не превышало длину минимального спада или подъема участков изменения полезного сигнала.

Разработанная методика подтвердила свои положительные стороны и позволила решать вопросы, которые были поставлены перед экспериментальной установкой.

Д.А. Гринюк, доц., канд. техн. наук;
С.Е. Жарский, канд. техн. наук;
И. О. Оробей, доц., канд. техн. наук;
Д. Ю. Павлюкевич, инж. (БГТУ, г. Минск)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ЛЕНТЫ

С помощью конвейерного транспорта перемещаются материальные потоки на большинстве производств. Конвейер представляет собой механическую систему взаимодействия ленты, привода и статических опор. При движении ленты наблюдаются продольные и поперечные колебания. Существуют теоретические предпосылки для зависимости собственных продольных колебаний от величины материала на ленте. Кроме веса существуют и некоторые другие факторы, которые могут влиять на частоту собственных продольных колебаний конвейерной ленты.

Для анализа возможных факторов на период собственных колебаний была разработана макетная установка, произведено его изготовление и наладка. Продольное движение на стенде не предусмотрено. Стенд предусматривал возможность регулировки натяжения ленты на необходимое значение натяжения.

Измерение продольных колебаний производилось с помощью датчика ZX1-LD300A81 2M, который был любезно предоставлен фирмой БалтаконЭлектроникс на период проведения измерений. Фиксация измерительных трендов производилась с помощью цифрового осциллографа, а затем обрабатывалась через конвертацию в Matlab.

Изменение нагрузки производилось путем регулирования количества предварительно отвешенных объемов сыпучего вещества. Для возбуждения колебаний на ленту было организовано периодическое механическое воздействие по средствам мотор-редуктора и частотного инвертора. Период воздействия устанавливался таким, чтобы обеспечить время затухания колебаний ленты. Наиболее длительное затухание наблюдалось при пустой и слабо нагруженной ленте.

Существенным ограничением в эксперименте было невозможность безопасного обеспечения больших натяжений ленты. Максимально возможное значение соответствовало нижней границе промышленных значений натяжения ленты. При малых натяжениях ленты наблюдались наибольшие расхождения с теорией.

Д.А. Гринюк, доц., канд. техн. наук;
И.Г. Сухорукова, ст. преп.; Д. И. Чакур, инж. (БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ РАССОГЛАСОВАНИЯ SIMPLETIME РЕГУЛЯТОРОВ НА РАБОТУКАСКАДНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Основные вопросы решения управления промышленных систем решаются с помощью цифровых систем. Их особенностью является обработка и формирование управляющих воздействий законов регулирования в определенные моменты времени. Это время называют $simpletime(ST)$. На ранних этапах развития микропроцессорной техники ST определялось быстродействием вычислительной системы. На сегодня, чаще всего, этот параметр настройки алгоритма. Правильный его выбор оказывает влияние на динамические характеристики системы управления. Для каждой динамической системы существует его оптимальное значение. В тоже время в системах управления существуют многоуровневые контура управления, например, каскадные (подчиненные), комбинированные и т. д. Настройки каждой из составляющей алгоритмов зависят часто друг от друга.

В качестве объекта исследований была выбрана каскадная структура с двумя регуляторами. Для внутреннего контура использовался П-регулятор, для внешнего ПИ. Исходя из классической литературы по теории управления цифровых систем, был выбран диапазон рекомендуемых значений $simpletime$. С использованием интегральных критериев качества для каждого из трех выбранных фиксированных значений $simpletime$ для внешнего контура управления и различных значений внутреннего П-регулятора проведена совместная настройка регуляторов.

Минимизация интегрального критерия производилось в системе Matlab. Выбор ST оказывал влияние и на значение интегрального критерия, время переходного процесса, перерегулирование и настройки регулятора. При уменьшении ST для П-регулятора наблюдался постепенное снижение интегрального критерия, а при некотором значении резкое ухудшение. Из полученных результатов также следует, требуется или жесткая согласованность ST для обоих регуляторов выбор ST для каждого из них своего не кратного значения, так как при небольших отличиях ST двух регулятор может происходить как резкое улучшение, так и ухудшение общей работы системы.

УДК621.867

Д.А. Гринюк, доц., канд. техн. наук; И.Г. Сухорукова, ст. преп.;
Н. М. Олиферович, ассист.; В. А. Швейкус, инж. (БГТУ, г. Минск)

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АПЕРИОДИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

Для настройки ПИД-регулятора используют различные методы. Для каждого из них характерны различные достоинства и недостатки. Одни позволяют получить настройки достаточно быстро, однако редко эти настройки являются оптимальными. Другие требуют больших затрат, вычислительной мощности или плохо алгоритмируются для автономного использования в системах адаптивного управления.

В литературе предложен метод нахождения настройки цифрового ПИД-регулятора через апериодический цифровой (deadbeat, DB). Данное предложение обусловлено тем, что синтез DB хорошо отработанный алгоритм. Перерасчет основан на сравнении форм записи в цифровой форме двух регуляторов. Для расчета требуется определить особый коэффициент на основании анализа передаточной функции объекта. Однако существует множество подходов к формированию настроек DB-регулятора, которые также могут быть положены в основу синтеза настроек регулятора.

Для использования полученных различными методами DB регуляторов можно предложить использовать аппроксимацию переходной характеристики регулятора характеристикой ПИД-регулятора. Наиболее просто можно найти дифференциальную составляющую ПИД. Она фактически эквивалентна коэффициенту DB, который формирует первое управляющее воздействие. Для нахождения времени интегрирования необходимо найти два соседних отсчета переходной характеристики DB на участке окончания действия дифференциальной составляющей. После этого, с учетом времени квантования определяется время интегрирования. Дальнейшим действием можно определить коэффициент пропорциональности, который соответствует значению кривой наклона при первом отсчете.

Данный подход синтеза ПИД-регулятора легко алгоритмируется и может быть положен в основу адаптации в автономном режиме.

Произведенное моделирование работы замкнутой системы регулирования с настройками ПИД через DB показал свою состоятельность и может быть рекомендован на практике.

О. Г. Барашко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
А. В. Овсянников, доц., канд. техн. наук (БГУ, г. Минск)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ: ОСОБЕННОСТИ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

В силу опережающего развития информационных технологий относительно скоростей внедрения автоматизированных систем управления (АСУ) на предприятиях, многие развернутые системы оказались внедрены с определенными недостатками: внедрение систем, носящих локальный характер, без взаимосвязи с другими АСУ; чрезмерное количество информации, выдаваемое пользователю без анализа; отсутствие возможности масштабирования, модульности; отсутствие прогнозирования и разработки рекомендаций в автоматическом режиме. В дополнение к функционалу АСУ предприятия интеллектуальные системы управления добавляют следующие функциональные возможности:

– интеллектуальный мониторинг состояния производства: наглядная визуализация в виде планировок цехов, мнемосхем, диаграмм и светофоров позволяет в удобной форме без избыточной информации видеть все ключевые события и показатели;

– динамическое интеллектуальное планирование технического обслуживания на основе автоматического учета наработки оборудования и динамики его технического состояния. Например, если система обнаружит участвовавшие аварии, то выдаст рекомендацию провести внеплановую диагностику;

– анализ причин простоев. Не просто анализ того, сколько времени оборудование простаивало и почему, а многофакторный анализ. Например, система может выявить зависимость причин простоев от времени суток, что поможет правильно настроить бизнес-процессы;

– мониторинг эффективности, т. е. анализ того, насколько используется ресурс оборудования. Это может быть учет доли времени работы к времени простоев или полный сложный анализ с выводом коэффициента общей эффективности оборудования;

– анализ аварийных ситуаций с интеллектуальной сортировкой их по степени важности (до аварии, в момент аварии и непосредственно после нее).

А. В. Овсянников, доц., канд. техн. наук (БГУ, г. Минск);
О. Г. Барашко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ОБОБЩЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО СЕКАНСА: РОБАСТНЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

Адекватное вероятностное описание объектов статистических исследований, помех в каналах передачи информации, шумов (погрешностей) измерительных экспериментов требует применения разнообразных математических моделей распределений. В ряде случаев, в этих целях, удобно использовать обобщенные распределения, как универсальный инструмент, позволяющий при изменении некоторых параметров, влияющих на форму распределения (плотности вероятности, далее плотности), оставаться в рамках одной и той же математической модели.

Потребность в обобщенных распределениях, обладающих рядом ценных свойств и особенностей, в частности, робастности на классе распределений, простотой технической и аппаратно-программной реализации нелинейных преобразований, компактностью аналитических преобразований при работе с ними вызвана также и тем, что известные на сегодняшний момент обобщенные распределения этими качествами не обладают.

Применение sech^k -плотности с параметром $k = 1,2$ в практике статистического анализа достаточно известно. Так, например, плотности с $k=1$ (распределение Чампернауна), $k = 2$ (логистическое распределение) получили распространение в социальных и финансово-экономических исследованиях. Кроме того, известны применения логистического распределения в описательной статистике биосферы, биотехнологии и технических областях, например, для описания прочностных характеристик усталости металлов. В математической статистике источником возникновения логистического распределения является асимптотическая теория экстремальных значений.

Распределение sech^k может быть использовано в статистике временных рядов. Так, анализ многочисленных примеров временных рядов (при исключении тренда), приведенных в классической и современной литературе, показывает лучшую значимость критерия согласия χ^2 (критерия Пирсона) при идентификации для sech^k -плотности в сравнении с гауссовской или лапласовской плотностями.

УДК 62.529

С.Е. Жарский, доц., канд. техн. наук; Н.М. Олиферович, ассист.;
М.А. Анкуда, ассист.; Лысов Е.А, инж. (БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В СРЕДЕ CODESYS 3.5 ПРИ СИНТЕЗЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТООПЕРАТОРОМ

Попытки использования объектно-ориентированного подхода (ООП) при синтезе программных систем управления известны давно и нашли своё отражение в соответствующих средах разработки (стандарт IEC 61131 и его расширения). Необходимо отметить, сами функциональные блоки (ФБ) уже являются элементами ООП, т.к. инкапсулируют данные, сохраняемые между вызовами ФБ. Недавние дополнения среды CodeSYS в виде наследования ФБ как классов, наличие интерфейсов, методов с передаваемыми и возвращаемыми параметрами, реализация переопределения методов и интерфейсов при наследовании значительно расширяют возможности использования ООП, предоставляя механизм инкапсуляции параметров. Таким образом, не переопределяя входы и выходы ФБ, мы получаем механизм получения и возвращения данных о состоянии объекта. Это дает возможность однократного вызова программного содержимого ФБ, например, в теле основной программы PLC_PRG. А получение и передача параметров выполняется во «второстепенной» части кода при помощи механизма методов.

Однако, в силу сложности полной разработки кода в ООП виде (известно, что разработка полной иерархии классов занимает времени больше чем само написание программного кода). Здесь на помощь программисту приходят дополнительные возможности стандарта IEC 61131 в виде языка организации диаграмм состояний (SFC), позволяющего организовать работу программного обеспечения в виде автомата состояний (в нашем случае циклограмм для выполнения технологического цикла гальванической обработки).

Таким образом, описываемая программа управления гальванической линией цинкования представляет собой следующую структуру - SFC диаграмма реализует основной технологический цикл. Передача параметров и управление в текущем элементе диаграммы реализуется при помощи методов, реализующих команды перемещения от ванны к ванной или выдержки времени обработки.

КАЧЕСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА ПРИ ДРОССЕЛИРУЮЩЕЙ СХЕМЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОНТУРА

При качественном регулировании количество подаваемого в помещение воздуха остается постоянным во времени, а поддержание температуры осуществляется путем изменения производительности источника тепла (калориферная установка, электрический ТЭН и др.).

Принцип работы: по сигналу управления электропривод закрывает/открывает регулирующий двухходовой клапан, тем самым уменьшается расход теплоносителя через калориферную установку.

Особенности дросселирующего контура:

- 1) отсутствует гидравлическое разделение;
- 2) низкая температура обратного теплоносителя при частичном открытии клапана;
- 3) нелинейная зависимость температуры приточного воздуха от расхода жидкости;
- 4) постоянная времени нелинейная и сильно зависит от расхода теплоносителя;
- 5) при старте контур выходит на тепловой режим с задержкой за счет застойных явлений в подающем трубопроводе;
- 6) существует опасность замораживания калориферной установки.

Данный способ регулирования характеризуется нелинейными статическими и динамическими характеристиками аппарата, что затрудняет настройку автоматической системы управления.

Необходимо помнить, что постоянная времени калориферной установки значительно меньше постоянной времени помещения и неизбежное запаздывание может привести к значительным колебаниям температуры как в системе приточной вентиляции, так и в помещении. По этим причинам применение двухпозиционного и трехпозиционного законов регулирования крайне осложнено и увеличивает вероятность замерзания калориферной установки и эффекта дутья на рабочих местах.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Под сегментацией изображения понимается процесс его разбиения на составные части, имеющие содержательный смысл: объекты, их границы или другие информативные фрагменты, характерные геометрические особенности и др. Количество алгоритмов сегментации исчисляется сотнями, однако, обобщая, большинство из них можно свести к выявлению двух фундаментальных свойств изображения: сходства и различия.

В данной работе рассматривается два основных подхода к сегментации, используемых в СТЗ: метод нахождения однородных областей и метод выделения контурных линий.

Нахождение однородных областей. Сегментацию изображения на ряд однородных областей можно проводить по любому свойству, характеризующему сходство элементов каждой области друг с другом, – по яркости, цвету, текстуре и др. Чаще всего в качестве такого свойства выбирают уровень яркости. Среди методов сегментации по концепции наиболее прост способ наращивания областей, когда соседние элементы с одинаковыми или близкими уровнями яркости группируют, объединяя в однородные области. При этом необходимо избегать ошибок из-за неверного определения соседних элементов.

Выделение контурных линий. В СТЗ чаще применяют методы сегментации, основанные на выделении контуров. Контурные линии на изображении образуются из видимых участков границ объектов, причем они могут служить границами не только между предметами рабочей сцены и фоном, но и между изображениями различных предметов и даже между изображениями смежных поверхностей одного и того же предмета.

Наиболее простой способ нахождения контурных последовательностей, заключается в непосредственном прослеживании обнаруженных при бинаризации изображения точек перехода из «0» в «1» (или наоборот). Более общий путь выделения контурных изображений базируется на расчете меры изменения яркости с последующим её сравнением с порогом. В принципе при этом могут быть использованы известные методы численного дифференцирования функций двух переменных на дискретной решетке.

УДК681.5

М. В. Клютко, асп.; В. А. Стоцкий, зав. лаб. (БГТУ, г. Минск)

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА «DOBOTMAGICIAN»

Программно-аппаратный комплекс Dobot Magician может управляться и программироваться с помощью пульта управления или от главного компьютера через программную среду Dobot Studio.

4-х осевой комплекс Dobot Magician обладает различными рабочими инструментами, такими как: механический захват с пневматическим приводом, вакуумный захват, захват для пилющего инструмента, экструдер для 3D-печати и лазерный модуль для гравировки.



Рисунок – Многофункциональный программно-аппаратный комплекс Dobot Magician

Комплекс DobotMagician программируется на языках: GoogleBlockly, Python, Java (Android), C/C++/C#, LabViewи Objective-C (iOS, MacOS).

В язык Blockly встроен достаточно развитый набор алгебраических и тригонометрических функций, также поддерживается полноценный набор логических выражений.

С использованием программного обеспечения DobotStudioбыл реализован процесс снятия деталей с конвейера, с последующим распознаванием цвета деталей и перемещением их в определенное место согласно цвету.

УДК62-533.65: 536.2

М. А. Анкуда, ассист.; С. Е. Жарский, доц., канд. техн. наук;
Н. М. Олиферович, ассист. (БГТУ, г. Минск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭКСТРУДЕРЕ 3D-ПРИНТЕРА

Одним из важнейших элементов в 3D-принтере является экструдер, то есть печатающая головка принтера. В экструдере электромотор приводит в движение шестерни, осуществляя подачу пластиковой нити в сопло. В сопле происходит плавка нити с последующей экструзией вязкого материала.

При разработке модели нагревателя головки, как объекта управления, вводят следующие допущения:

- пренебрегают неоднородностью элементов, т.е. используют усредненные теплотехнические параметры;
- считают нагреватель и все элементы теплотехнически тонким телом.

Эти допущения позволяют получить модель, удобную для дальнейшего исследования системы регулирования температуры.

Запишем уравнение энергетического баланса:

$$c_i m_i \frac{d\theta_i}{dt} + \alpha_i \theta_i F_i = P_i \pm \Delta P. \quad (1)$$

где c_i – усредненный коэффициент теплоемкости нагревательной головки экструдера; m_i – масса нагревательной головки; α_i – коэффициент теплоотдачи нагревателя; P_i – вводимая мощность; F_i – площадь поверхности нагревателя; ΔP – потери мощности.

Таким образом, передаточная функция примет следующий вид:

$$W_i(p) = \frac{1}{\alpha_i F_i T_i p + 1}. \quad (2)$$

С учетом типа управляющего воздействия (вводимой мощности или температуры предыдущего элемента) запишем передаточные функции для каждого элемента нагревателя.

Для нагревателя передаточная функция будет иметь следующий вид:

$$W_{\text{нг}}(p) = \frac{1}{\alpha_{\text{нг}} F_{\text{нг}} T_{\text{нг}} p + 1}. \quad (3)$$

Уравнение энергетического баланса для каждого последующего элемента нагревателя запишем в виде:

$$c_i m_i \frac{d\theta_i}{dt} + \alpha_i \theta_i F_i = \alpha_{i-1} \theta_{i-1} F_{i-1}. \quad (4)$$

где $\alpha_{i-1} \theta_{i-1}$ – вводимая мощность

А передаточные функция для элементов примут вид:

$$W_i(p) = \frac{\alpha_{i-1} F_{i-1}}{T_i p + 1}. \quad (5)$$

В связи с тем, что в данной работе рассматриваются нагревательные головки с различными температурными зонами, то в структуре объекта управления выделим отдельно каждый элемент, который соответствует определенной зоне профиля температур нагревательной головки, согласно структурной схеме отдельных элементов (рисунок 1).

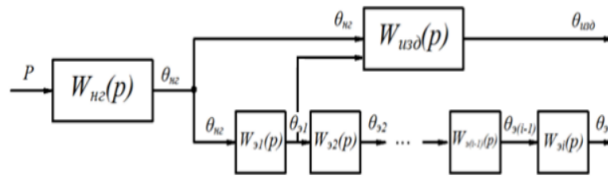


Рисунок 1 – Структурная схема нагревательной головки

Для данной структурной схеме в среде Simulink была разработана модель резистивного нагревателя головки экструдера. Построение такой модели позволяет исследовать динамическое изменение температуры в различных областях зоны нагрева экструдера 3D-принтера.

На рисунке 2, приведены временные диаграммы, иллюстрирующие возможности предлагаемой модели. Для удобства анализа полученных зависимостей изменения температуры (нагревателя, изделия, а также наиболее нагретого элемента головки) во время разогрева резистивного нагревателя характеристики выводятся на общий виртуальный осциллограф Scope1, что позволяет получить единую картину распределения температуры в пространстве нагревательной головки в динамике.

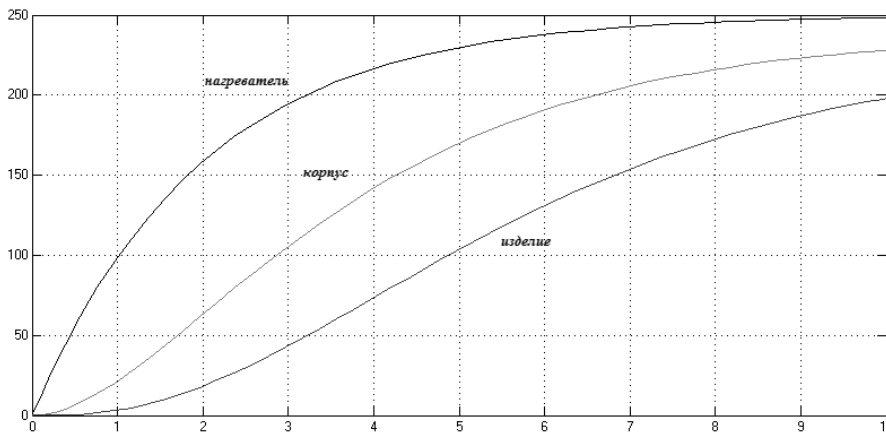


Рисунок 2 — Динамические характеристики температуры нагревателя, изделия и наиболее горячего элемента головки экструдера

Данная модель (рисунок 2) позволяет решать ряд актуальных задач, таких как: определение места установки датчика температуры; выбор значения превышения мощности в регуляторе; проверка выбора материалов нагревательной головки экструдера (не превышена ли максимальная температура на каждом из них); настройка системы управления температурой и отработка возможных возмущающих воздействий.

УДК 621.316.79

М. А. Анкуда, ассист.; С. Е. Жарский, доц., канд. техн. наук;
Н. М. Олиферович, ассист. (БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ ПЛАВЛЕНИЯ ЭКСТРУДЕРА 3D-ПРИНТЕРА

Анализируя температурное поле и профиль температур вдоль головки экструдера 3D-принтера можно сделать вывод, что для оптимальной работы желательно иметь систему управления поддержания температуры разделенную на 2 подсистемы:

- 1) система поддержания высокой температуры в зоне нагрева и выдавливания пластика из сопла;
- 2) система стабилизации низкой температуры в зоне подачи пластикового прутка.

С целью реализации численного моделирования в пакете Matlab/Simulink была создана структура замкнутой системы управления с контролем и регулированием температуры как на рисунке 1.

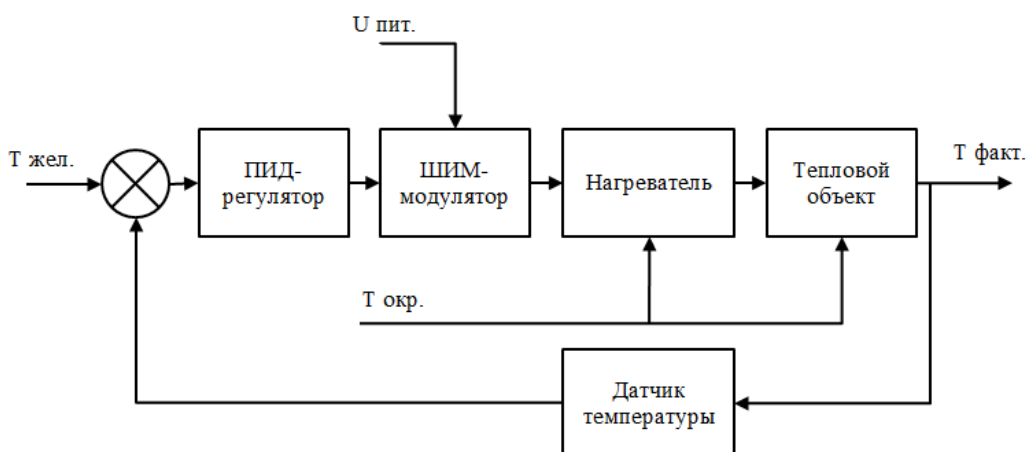


Рисунок 1 — Структурная схема системы автоматического регулирования температуры головки экструдера

Передаточная функция объекта управления (нагревательной головки экструдера) была получена ранее. При составлении передаточной функции нагревателя было учтено, что сопротивление не является постоянной величиной при изменении температуры, а подводимая мощность зависит от питающего напряжения во второй степени.

$$P = \frac{U^2}{R} \eta, \quad \dots(1)$$

где U –напряжение нагревателя, В; R – сопротивление нагревателя, Ом; η – коэффициент полезного действия.

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T), \quad (2)$$

где R_0 – сопротивление секции нагревателя при температуре 20°C, Ом; α – температурный коэффициент сопротивления материала нагревателя; ΔT – изменение температуры нагревателя, °С.

Для энергии, расходуемой на нагрев материала нагревателя, можно записать следующую формулу:

$$Q = cm\Delta T, \quad (3)$$

где Q – энергия, расходуемая на нагрев нагревателя, Дж, c – удельная теплоемкость вещества нагревателя, Дж/(кг·°С); ΔT – изменение температуры материала нагревателя при передаче ему энергии; m – масса секции нагревателя, кг.

Исходя из выше рассмотренного, можно составить структурную схему нагревателя. Структурная схема нагревателя представлена на рисунке 2.

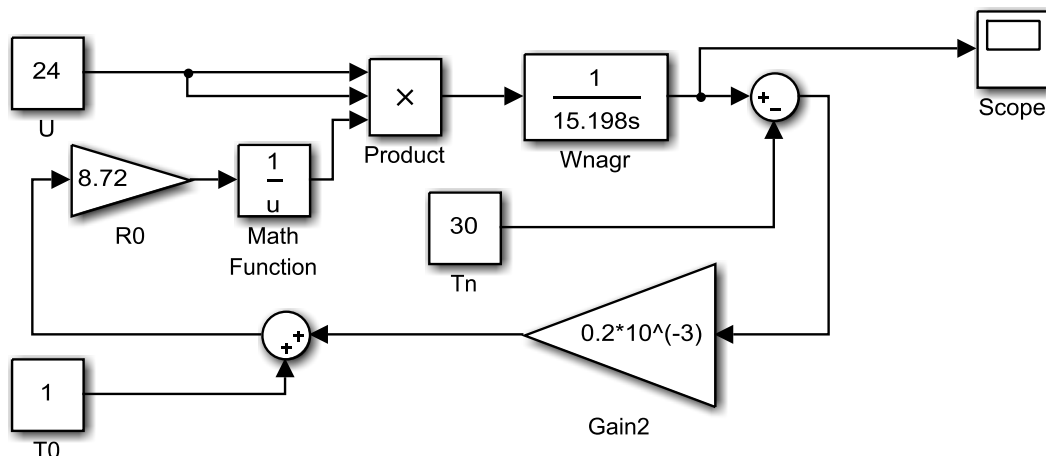


Рисунок 2 — Структурная схема нагревателя

Можно записать выражение для передаточной функций нагревателя:

$$W = \frac{1}{c \cdot m \cdot p}, \quad (4)$$

Для управления величиной напряжения целесообразным было рассматривать блок-ШИМ (широтно-импульсный модулятор), реали-

зованный на базе микроконтроллера.

Напряжение, подаваемое на нагреватель, пропорционально скважности импульсов. Запишем выражение для скважности импульса:

$$S = \frac{t_{\text{имп}}}{T}, \quad (5)$$

где $t_{\text{имп}}$ – продолжительность импульса, с; T – период импульса, с.

Тиристорный преобразователь изменяет продолжительность импульса во входное напряжение нагревателя. Передаточную функцию ШИМ-преобразователя можно представить в виде последовательного соединения сравнивающего ключа (ШИМ-блок) и понижающего RLC преобразователя. Для практической реализации данной системы управления в работе предложено использовать микроконтроллер Atmel ATmega2560, который работает под управлением Ардуино.

УДК676.22.017

А.В. Леончук, инж.; Д.С. Карпович, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОСЕТЕЙ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

В качестве объекта исследования была выбрана приточно-вытяжная установка с водяным теплоносителем. При регулировании теплопроизводительности приточных систем наиболее распространенным является способ изменения расхода теплоносителя.

Для управления расходом теплоносителя необходимо знать, как изменяются температурные показатели на выходе установки от изменения температуры теплоносителя. Для этой цели можно использовать расчетный и экспериментальный метод исследования. В данной работе используется экспериментальный метод.

Была рассмотрена ПВ система с автоматическим поддержанием температуры, удаленным мониторингом и управлением с рабочего места диспетчера (задание температуры, выбор скорости работы вентиляторов, выбор режима "зима/лето и т.д.).

Для диспетчеризации и удаленного управления системой в качестве верхнего уровня диспетчеризации используется контроллер AS-P производства SchneiderElectric. Опрос контроллера приточки осуществляется через шлюз Modbus TCP – RTU.

В процессе мониторинга системы был получен график зависимости расхода теплоносителя от показателей температуры на входе и выходе приточно-вытяжной установки, которые позволяют опреде-

лить динамические свойства элементов системы.

При помощи программного комплекса System Identification Toolbox предоставляющего функции MATLAB планируется построить математическую модель динамических систем по измеренным данным входа и выхода измеренных параметров, для дальнейшего анализа и усовершенствования системы управления с помощью оптимальной настройки.

Данная работа должна позволить уменьшить расход теплоносителя и как следствие улучшить экономические показатели системы.

УДК676.22.017

Р.И. Ахралович, магистрант;

Д. С.Карпович, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ДОСТУПА

Основной задачей системы автоматизации процессов децентрализованного доступа для управления потоками данных облачных ресурсов является обеспечения надежного сбора, хранения и обработки информации для различных видов кросс-платформ, а также увеличить вероятность успешного доступа к облачным ресурсам, скорость обработки больших объемов данных и отказоустойчивость процесса управления и хранения ресурсов.

Перечень компонентов архитектуры описываемой распределенной программной системы: автоматизированная система ОС; подсистема работы с данными; подсистема профилей пользователей; аналитическая подсистема; подсистема пользовательского интерфейса; подсистемы программно-аппаратного интерфейса. Разработанная обобщенная схема управления потоками данных в распределенной облачной среде: модуль для формирования команд управления; модуль для информационного обмена показателями качества управления потоками данных, основной задачей которого является повышения быстродействия информационных обменов; модуль оценки показателей качества управления потоками данных, основной задачей которого является уменьшение вероятности возникновения не обнаруживаемых ошибок при пересылке данных; модуль учета пользователей и управления ресурсами распределенной облачной среды. Установлено что для централизованных систем происходит гарантированный отказ централизованной системы при любом числе копий, что для децентрализованных подобного эффекта не наблюдалось. В результате, при проведении экспериментов для централизованных сетей с большим числом объектов наблюдалась достаточно высокая дис-

персия результатов, а вот для децентрализованных сетей высокая дисперсия результатов наблюдалась лишь в узком диапазоне значений.

Результаты экспериментальных исследований имитационной модели показали, что предложенные средства автоматизации децентрализованного доступа и управления потоками данных облачных ресурсов обеспечивают уменьшение загруженности центров обработки и передачи данных в облачной среде минимум в 4 раза и позволяют достигать требуемой отказоустойчивости при уменьшении дублирования хранимых данных по сравнению с централизованными системами не менее чем в 2,8 раза.

УДК 543.432:615.322

Г.Г. Козлов, инж.; Д. С.Карпович, зав. кафедрой, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

СИСТЕМА ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА УП «МинскИнтерКапс»

Система динамического взвешивания предназначена для точного контроля веса продуктов проходящих по конвейеру без остановки. Она применяется в основном для фармацевтической и пищевой промышленности. Использование магнитоэлектрических модулей позволяет взвешивать продукты быстро и точно. Устройство имеет дружелюбный, интуитивно понятный интерфейс и несколько встроенных функций, которые позволяют работать со статистикой. Подключение контрольных весов к компьютеру, напрямую или через сеть, позволяет управлять процессом удаленно и передавать результаты в учетную программу. Система оснащена промышленным компьютером на базе операционной системы WindowsEmbedded. Модуль базы данных разработан на основе Microsoft SQL Server. Популярность ОС, понятный интерфейс и сетевые возможности упрощают интеграцию в существующую систему.

Система состоит из трех конвейеров:

Первый (подающий) конвейер принимает упаковку с лекарственными средствами непосредственно с конвейера картонной машины. Сбоку от конвейера установлен оптический датчик, измеряющий длину упаковки в момент ее прохода по конвейеру. Если пачка открыта - она будет забракована. Второй (взвешивающий) конвейер выполняет исключительно функции взвешивания. Опора данного конвейера соединена непосредственно с магнитоэлектрической взвешивающей ячейкой. Взвешивающая ячейка имеет дискретность 0.01г и максимальный вес взвешивания в 750г. При перегрузке ячейки весом в 5кг и более, либо

при ударе ячейки, есть шанс выхода ее из строя. Взвешивающая ячейка настраивается на отбраковку по весу капсулы (от 0.5г до 3г в большинстве случаев). Третий (отбраковочный) конвейер посредством пневмоцилиндра выдувает упаковки ненадлежащего (вес, длина) качества с ленты в специальный отсек для брака. Упаковки, соответствующие весу и длине, выходят на сортировочный стол для дальнейшей упаковки в коробки для транспортировки и отправки заказчику. Все три конвейера закрыты пластиковым коробом, в котором имеется вырез с крышкой для быстрого доступа к взвешивающей ячейке и ее калибровке. Короб защищает систему от возможных физических воздействий. Система управляется с помощью сенсорного ЖК дисплея, находящегося над конвейерами. Установлена операционная система Windows с управляющей программой от завода производителя. Программа позволяет производить все необходимые манипуляции с настройками конвейеров.

УДК676.22.017

А. А. Рудь, магистрант; В. Б. Михайлов, канд. физ.-мат. наук, доц.
(БГТУ, г. Минск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ЗАКОНАМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Одним из тепловых объектов с распределенными параметрами является деревообрабатывающий инструмент в виде тонкого металлического диска с зубьями подвергающимися сильному нагреву в процессе резания. При температурах достигающих несколько сотен градусов в точке резания происходит сильный износ острозаточенных зубьев пилы и инструмент подлежит замене. Поэтому задача увеличения износостойкости деревообрабатывающего инструмента в Республике Беларусь является актуальной.

Целью является изучение распределения температуры по радиусу пилящего диска с различными свойствами (диск из инструментальной стали; диск с закаленными зубьями, диск с нанесенным износостойким, упрочняющим покрытием).

Задачи расчета систем с распределенными параметрами заключаются в расчете требуемой величины, значение которой зависит от пространственной координаты. Для аналитического решения таких задач используется математический аппарат теории СРП и уравнения математической физики. Основной особенностью СРП является использование вместо обыкновенных дифференциальных уравнений (для сосредоточенных систем) дифференциальных уравнений в частных производных.

Основной целью проведения современного эксперимента с является определения распределения температурного поля на разогретой круглой дисковой пиле.

В данной работе исследования тепловыми объектами с распределенными параметрами был произведен эксперимент с нагревающей круглой дисковой пилой. Он состоит из станка со специальным шпинделем, закрепленной на станке, круглой дисковой пилы. Если увеличить скорость пиления, то пила сильнее греется. В процессе эксперимента было видно, что температура нагрева дисковой пилы во время резания была не высокой. Основной нагрев происходит в зоне резания. Значение температуры при удалении от зоны резания уменьшается. Полученные динамические свойства позволяют утверждать, что инерционность процесса также увеличивается, по мере удаления от зоны.

УДК 676.22.017

А.В. Широков, инж. (ОАО "ИНТЕГРАЛ", г. Минск);
Д.С. Карпович, зав. каф., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕГО DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ БАЗЫ ОАО «ИНТЕГРАЛ»

Цели и задачи. Разработать DC-DC преобразователь на отечественных компонентах с:

- входными напряжениями 18 В, 27 В и 36 В;
- мощностью 10 Вт (3 А и 3,3 В на выходе);
- высокой стабильностью выходного напряжения;
- низким уровнем пульсаций по напряжению на выходе.

В ходе оптимизации характеристик макета получен образец одноконтурного прямоходового преобразователя, реализованный на двухсторонней печатной плате с точными исполнениями трансформатора и дросселей и однозвенным выходным LC фильтром. КПД преобразователя составил 73,6 % при номинальной нагрузке (3,3В 3А) и номинальном входном напряжении (27 В) при частоте преобразования 330 кГц и пульсации выходного напряжения 6 мВ (пк-пк).

Для достижения такого результата были проделаны следующие мероприятия:

1. Выбрана прямоходовая структура, вместо обратходовой, которые используют на таких мощностях;
2. Разработан внутренний LC фильтр с большей величиной индуктивности. В некоторых зарубежных аналогах используют внешние LC фильтры. У нас он реализован внутри DC-DC преобразователя;

3. Более точный подход расчёта цепи компенсации усилителя ошибки схемы обратной связи, для выбранных характеристик. Обычно данный контур рассчитывают в общем виде для нескольких линеек источников питания;

4. Выбор силового ключа с лучшими показателями (сопротивление канала, входная емкость) для уменьшения коммутационных помех и применение резонансного размагничивания первичной обмотки трансформатора позволят снизить выбросы напряжения, и, следовательно, снизить пульсации выходного напряжения.

5. Применение снабберной цепи в силовом ключе.

УДК 676.22.017

Н.А. Кунцевич, инж.
(Филиал “Гомельобои” ОАО “ЦБК-Консалт”, г. Минск);
Д.С. Карпович, зав. кафедрой, канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ЛИНИЯ СУШКИ ТИСНИЛЬНО-СКЛЕИВАЮЩЕЙ МАШИНЫ КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

Цели и задачи. Исследование и разработка устройства сушки обойного полотна, а также системы автоматического управления (САУ) процессом сушки обойного полотна обработанного пеной.

На основании анализа процесса покрытия пеной бумажного полотна, разработаны принципы управления процессом сушки. Рассмотрены особенности сушки обработанного полотна и различные типы сушильных камер, на основании которых предложена предположительная структура автоматической системы управления процессом сушки основы (материала) после обработки ее вспененным латексом.

Получена уточненная математическая модель конвективной сушки материалов обработанных пеной. Проведено моделирование одноконтурных систем автоматического управления процессом сушки основы и получены графики переходных процессов по заданию и возмущению в данных системах управления при ПИ законе управления.

Проведено моделирование двухконтурных систем управления процессом сушки основы, получены их графические зависимости при задающих и возмущающих воздействиях на объект управления. Установлено, что в результате использования двухконтурной системы управления повышается качество технологического процесса сушки.

Проведено моделирование трехконтурных систем управления процессом сушки основы, а также получены графики переходных

процессов при задающем и возмущающем воздействиях, которые незначительно отличаются от графиков переходных процессов при моделировании одно- и двухконтурных систем управления. Время регулирования для всех систем автоматического управления составляет порядка 60-170 секунд. Проведено моделирование аналоговых систем управления в дискретной форме и получены передаточные функции для дискретных систем управления, качество которых оказалось выше, чем аналоговых систем. Время регулирования не превышает 100 секунд.

УДК 676.222

Н. М. Брель, инж.; О. Г. Барашко, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РАЗМОЛА. ОСОБЕННОСТИ И ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ

Размол волокнистой массы – процесс механической обработки волокон в присутствии воды. Для осуществления процесса размола могут использоваться гидрофайнеры, конические и дисковые мельницы. В настоящее время широкую популярность приобрели рафинёры– дисковые мельницы с вертикальным расположением размалывающих дисков. Дисковые рафинеры выпускаются с двумя и тремя дисками. У первых могут вращаться один или оба диска (в разных направлениях), у вторых вращается лишь один средний диск.

Рассмотрим рафинёр с двумя размалывающими дисками, один из которых вращается. Приводом является синхронный двигатель. Материальные потоки: древесная щепа, светлый фильтрат, пар.

По заданному параметру степени помола, который измеряется в градусах Шоппер-Риглера (°ШР), устанавливаются соответствующие ему величина зазора между размалывающими дисками и частота вращения одного из дисков.

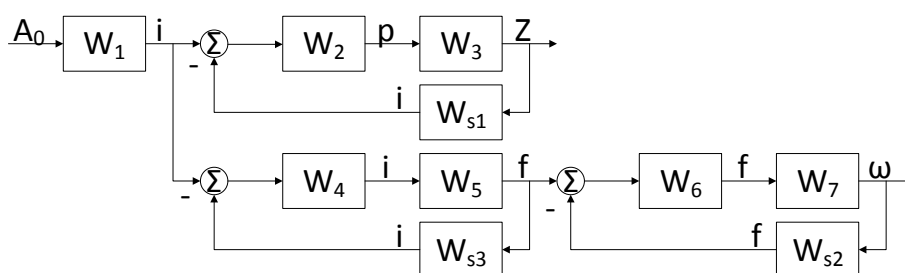
В настоящее время для измерения помола волокнистой массы не существует автоматизированных устройств, то есть степень помола напрямую измеряется только в лабораторных условиях. Таким образом, степень помола в производственном процессе может измеряться только косвенно.

Установка необходимой величины зазора между размалывающими дисками происходит следующим образом: задаётся необходимая степень помола; далее она конвертируется в соответствующий унифицированный токовый сигнал 4 – 20 мА; электропневматический преобразователь

(сервоклапан) регулирует разность давлений в магистралях в пневматической системе регулирования зазором; датчик зазора измеряет расстояние между размалывающими дисками, конвертирует его в токовый унифицированный сигнал 4 – 20 мА; система управления сравнивает его с заданным и высчитывает ошибку регулирования; исходя из знака ошибки, её величина либо отнимается, либо прибавляется к величине задания, таким образом производя более точную настройку.

Регулирование частотой вращения размалывающего диска осуществляется следующим образом: сигнал управления преобразуется в унифицированный токовый сигнал 4 – 20 мА; данный токовый сигнал управляет заданием силовой части частотного преобразователя; с помощью ПИД-регулятора и обратной связи происходит управление частотным преобразователем; при помощи ПИД-регулятора и датчика скорости вращения диска осуществляется управление двигателем.[1]

Систему автоматического управления степенью помола можно представить в виде следующей структурной схемы.



A_0 – сигнал задания необходимой степени помола; i – унифицированный сигнал регулирования 4-20 мА; p – давление, регулирующее зазор между размалывающими дисками; Z – расстояние зазора между дисками; f – частота электрического сигнала управления; ω – частота вращения диска (угловая скорость); W_1 – преобразователь сигнала задания в унифицированный токовый сигнал; W_2 – электропневматический преобразователь; W_3 – передаточная функция сервоклапана; W_{s1} – датчик расстояния между размалывающими дисками; W_4 – регулятор; W_5 – передаточная функция частотного преобразователя; W_6 – регулятор; W_7 – передаточная функция исполнительного механизма (двигатель); W_{s2} – датчик частоты вращения размалывающего диска (угловая скорость); W_{s3} – контроль частоты управления двигателем

Рисунок 1 – САУ степенью помола щепы

Также для получения необходимой степени помола может использоваться метод рецептуры: проводятся эксперименты, создаётся таблица параметров, необходимых для управления процессом размола, чтобы производить массу с наилучшими свойствами: степень помола, средняя длина волокна, степень гидратации, сделать волокна гибкими и пластичными, увеличить их поверхность (фибрилляцией и набуханием). обеспечить лучший контакт и связь волокон в бумажном листе (придать ему прочность); придать бумажному листу путем укорочения, расщепления и фибриллюции волокон требуемую структуру и физические свойства: объемный вес, пухлость, пористость, впитывающую способность

и др. [2, 3]. Совершенствуя процесс управления, можно использовать метод прогнозирования для уменьшения инерционности процесса, что также ведёт к более качественному выходу продукта и снижению экономических затрат. Данный способ эффективен при разнородности щепы.

УДК 681.269.6

Е.А. Нерсесян, магистрант;
И.Ф. Кузьмицкий, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

НЕПРЕРЫВНОЕ ВЗВЕШИВАНИЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ И ПРОДУКТОВ, ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ ЛЕНТОЧНЫМИ ТРАНСПОРТЕРАМИ (КОНВЕЙЕРАМИ)

В работе описан способ измерения массы калийной руды, транспортируемой ленточным конвейером, при помощи технического зрения. Он основан на вычислении объема транспортируемого материала, методом определения площади сечения.

Принцип работы устройства: Транспортируемый конвейером материал освещается сверху узким лучом света, который огибает материал, желоб ленты конвейера и проецируется на матрицу цифровой видеокамеры. Съёмка объекта и расчеты площади сечения транспортируемого материала выполняются до 20 раз в секунду. Средняя измеренная за секунду площадь сечения материала и данные с датчика скорости ленты конвейера передаются в систему автоматизации, а также с учетом существующих данных о скорости конвейера рассчитывается объем транспортируемого материала. На основании введённой насыпной плотности рассчитывается текущая весовая производительность конвейера в точке измерения.

$$m = \rho * V,$$

где m - масса, (кг); V - объем, (m^3); ρ - насыпная плотность, ($кг/м^3$).

Насыпная плотность – это плотность в неуплотненном состоянии, учитывает не только объем частиц материала, но и пространство между ними, потому насыпная плотность гораздо меньше чем истинная. Например, истинная плотность каменной соли составляет 2,3 т/м³, а насыпная - 1,02 т/м³.

Влажность, является одним из показателей качества руды. *Естественная влажность пород* подвержена сезонным и даже суточным колебаниям. Масса транспортируемого материала на прямую зависит от данного показателя, поэтому необходимо периодически проводить замеры и вносить поправочные коэффициенты в систему расчета.

Влияющими факторами вычисления площади сечения являются форма профиля ленты (нижняя огибающая сечения) изменяющееся во времени. Точное определение профиля транспортируемого материала

(верхняя огибающая сечения) проецируемого на матрицу цифровой видеокамеры. Наличие «мертвых зон» в профиле обусловленных неравномерным распределением и размера кусков руды.

Также, немаловажным фактором, влияющим на точность измерения является скорость конвейерной ленты, количеством произведённых кадров за единицу времени и методика расчета усредненного значения.

УДК658.51

Е. С. Якубовская, ст. преп. (БГАТУ, г. Минск)

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ В ГРАФИЧЕСКОМ ПАКЕТЕ САПР

Традиционно наибольшее количество времени при разработке системы автоматического управления поточной технологической линией тратится на составление структуры управления оборудованием технологического процесса. Современные пакеты электротехнических САПР, такие как CADElectro, Electrics, WS-CAD, Pschematic реализуют технологию сквозного проектирования документации и значительно облегчают труд инженера проектировщика, однако ни одна САПР не дает инструмента, который бы позволил разработать структуру принципиальной электрической схемы управления установкой или технологическим процессом. Между тем давно известна теория синтеза релейно-контактных схем [1], которая требует лишь приведения к виду, удобному для написания программы, реализующей разработку структуры управления, например, в редакторе AutoCAD.

Основанием для разработки структуры схемы управления является алгоритм управления технологическим процессом. Он должен быть представлен в символической форме, удобной для расчета. Для разработки структуры управления отдельным исполнительным механизмом необходимо выделить элементы, влияющие на его работу, и разработать частный алгоритм управления, обычно представляемый в виде частной тактовой таблицы включения [1, с.56]. По данной таблице легко реализовать структурную формулу управления. Структурная формула управления является основой программы управления, если устройство управления реализовано на контроллере. Для реализации программы разработки структуры управления выбран язык программирования AutoLisp, для ее отрисовки - графический редактор AutoCAD, для диалога с пользователем – язык DCL, обеспечивающий разработку диалоговых окон.

Таким образом, программа обеспечивает реализацию математического аппарата разработки структуры управления автоматической системы управления средствами программирования AutoCAD.

Е. В. Васильева, ассист., канд. техн. наук;
Т. Г. Черкасова, доц., канд. техн. наук;
А. В. Неведров, доц., канд. техн. наук;
А. В. Папин, доц., канд. техн. наук;
С.П. Субботин доц., канд. экон. наук;
А.Б. Пилецкая, магистрант; В. С. Дороганов, ст. преп.
(КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово)

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО МЕТОДА ПРОГНОЗА ВЫХОДА ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ КОКСОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Нестабильность и разнородность сырьевой базы коксования по технологическим свойствам, неравномерность поставок углей влияет как на качество кокса, так и на выход химических продуктов коксования. Таким образом, для получения качественного кокса и оценки его выхода необходимо иметь сведения о качественных характеристиках углей, входящих в шихту, и о закономерностях выхода химических продуктов коксования. Поэтому актуальным остается значение оценки ресурсов химических продуктов коксования в углях и шихтах [1].

В ходе исследований кафедрой химической технологии твердого топлива института химических и нефтегазовых технологий Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева совместно с ЦЗЛ ПАО «Кокс» (Г. Кемерово) проведены исследования параметров качества и выхода химических продуктов коксования для 48 образцов углей и угольных концентратов сырьевой базы ПАО «Кокс» г. Кемерово. Полученные результаты подвергнуты математическому анализу, включающему методы корреляционного, регрессионного, канонического и кластерного анализов. После его проведения для каждого продукта коксования разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать выход химических продуктов коксования на основе характеристик качества исходных углей, тем самым рассчитать их расход. Построение моделей основано на технологии искусственной нейронной сети, основанной на сети Ворда.

Полученные модели представлена в виде компьютерной программы, реализующей нейронную сеть [6]. Первая часть приложения предназначена для создания и обучения искусственных нейронных сетей (рисунок 1), вторая часть – для прогнозирования с использованием созданных ранее сетей (рисунок 2). Первую часть приложения для создания сети можно разбить на 2 части: в верхней находятся поля и кнопки, необходимые для создания, обучения и сохранения нейрон-

ной сети, а в нижней – графики, необходимые для визуального контроля обучения сети. В главной форме пользовательского приложения отображена средняя относительная ошибка для выбранной сети, поля для ввода исходных значений и вывода рассчитанных показателей.

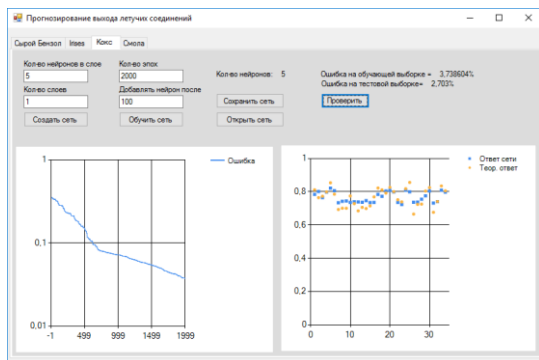


Рисунок 1 – Окно приложения для обучения сети

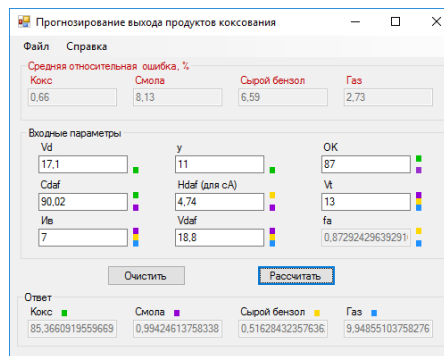


Рисунок 2 – Главная форма пользовательского приложения

Применение метода прогноза в практике коксохимического производства показало, что точность прогнозирования метода с использованием полученных нейронных сетей выше, так как он характеризуется наименьшей средней относительной ошибкой прогнозирования, составляющей соответственно: для кокса – 0,64 %, для каменноугольной смолы – 19,53 %, для сырого бензола – 10,02 %, для коксового газа – 5,11 %.

Используя модель, можно рассчитать величину отклонений выхода химических продуктов коксования от заданных показателей, тем самым уже на этапе выбора поставщика или марки углей спланировать более эффективное использование ценных марок углей, а также исключить проведение длительных и трудоемких исследований по определению выхода химических продуктов.

Авторы выражают благодарность коллективу ПАО «Кокс» за оказание помощи и сотрудничество при проведении научных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головки М.Б., Мирошниченко Д.В., Кафтан Ю.С. Современное состояние вопроса прогнозирования выхода кокса и основных химических продуктов коксования // Кокс и химия. 2011. № 9. С. 45-51.

2. Свид. 2017662199 Р.Ф. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Интеллектуальная информационная система прогнозирования выхода продуктов коксования / Е.В. Васильева, А.Б. Пилецкая, В.С. Дороганов, Т. Г. Черкасова, С. П. Субботин, А. В. Неведров, Е.А. Кошелев, Н.Г. Колмаков. Заявл. 04.09.2017; опубл. 01.11.2017. 1 с.

А.А. Симилова, асп. (КемГУ, г. Кемерово, Россия)
Е.В. Башкирцева, Н.В. Фурман, магистранты;
Б.А. Федосенков, проф., д-р техн. наук (КузГТУ, г. Кемерово, Россия)

МНОГОМЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ДОЗИРОВАНИЯ

Рассматривается процесс дозирования дисперсных материалов в смесеприготовительном агрегате. Объект исследования - блок мультиингредиентного дозирования, состоящий из дозирующих устройств непрерывного и дискретного действия. Предметная область исследований - автоматизированное мониторинговое управление процессом дозирования. При этом процесс управления осуществляется синхронно с визуально-графическим отображением режимов дозирования в многомерной вейвлет-среде. Последнее дает возможность на семантически прозрачном уровне идентифицировать стационарные и нестационарные режимы работы дозирующих устройств, что позволяет контролировать процессы в смесеприготовительном агрегате на предсмесительной стадии. Поддержание процессов дозирования на номинальном уровне способствует эффективному функционированию агрегата - получению смесей высокого качества.

В данном случае управление в многомерной среде подразумевает формирование управляющих воздействий как в скалярном формате, так и в многомерном. Однако в первом случае скалярное управляющее воздействие получается в результате преобразования многомерного вейвлет-отображения текущего режима дозирования на основе тарировочных характеристик "частота (период) дозирования-напряжение на исполнительных механизмах (электродвигателях)" соответствующих дозаторов. При этом задание имеет вид скалярного номинального напряжения. Во втором случае задающее воздействие на дозирующее устройство должно быть сформировано в многомерном виде. Таким образом, в составе производственной системы смесеприготовления создается система автоматического регулирования, функциональной задачей которой является стабилизация на номинальном уровне процесса дозирования.

Под многомерным отображением режима дозирования понимается представление текущего сигнала расхода, одномерного по своей природе, в виде одного из многомерных время-частотных распределений, входящих в группу так называемых распределений класса Коэна [1, 2]. В общем виде, распределения этого типа определяются выражением

$$Coh_x(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} A_x(\tau, \theta) \Phi(\tau, \theta) \exp(j2\pi(\theta t - \tau f)) d\theta d\tau, \quad (1)$$

где $A_x(\tau, \theta)$ - функция неоднозначности [1], задающая определенный тип распределения, имеющая вид

$$A_x(\tau, \theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^*(t - \tau/2) \exp(-j2\pi\theta t) x(t + \tau/2) dt, \quad (2)$$

$\Phi(\tau, \theta)$ - ядро распределения класса Коэна; служит для модификации виртуальной (паразитной) части распределения.

Практический пример время-частотного отображения нестационарного режима дозирования ингредиентов двумя аппаратами непрерывного действия, работающими в "противоположных режимах" сброса и наброса нагрузки, приведен в графическом виде на рисунке.

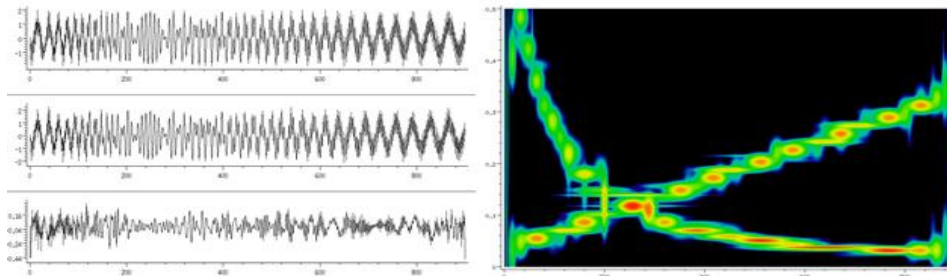


Рисунок - Время-частотный мониторинг работы блока из двух дозирующих устройств

На рисунке: слева - нормированный центрированный материалопотоковый сигнал (в г/с) на выходе блока из двух шнековых дозаторов, реконструированный по алгоритму вейвлет-поиска соответствия (иначе - МР-алгоритму [3]) сигнал, ошибка аппроксимации; справа - карта Вигнера (одного из распределений класса Коэна) данного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cohen, L. Time-frequency analysis / L. Cohen. - Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1995. - 299 pp.
2. Fedosenkov, D.B. Features of the use of time-frequency distributions for controlling the mixture-producing aggregate / D.B. Fedosenkov, A.A. Simikova, and B.A. Fedosenkov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering **354** (2018) 012019 doi:10.1088/1757-899X/354/1/012019
3. Mallat, St. A wavelet tour of signal processing, Academic Press, 2nd Ed., Ecole Polytechnique, Paris; Courant Institute, New York University, Library of Congress Catalog Card Number: 99-65087. - 1999, Reprinted 2001. - 637 pp.

Научное издание

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА

**Материалы докладов 83-й научно-технической конференции
профессорско-преподавательского состава,
научных сотрудников и аспирантов
(с международным участием)
Электронный ресурс**

В авторской редакции

Компьютерная верстка:

*Л.Ф. Папко, Е.В. Опимах, О.А. Алисиенок,
М.Ю. Подобед, А.В. Лихачева, Е.О. Черник*

Усл. печ. л. 10,70. Уч.-изд. л. 11,04.

Издатель и полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№1/227 от 20.03.2014

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.